SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 885 - NOVEMBRE 2020 - GUÉRIR AVEC LA GÉNÉTIQUE - CLIMAT : CE QUE L'ON SAIT

SANTÉ Augmenter ses défenses immunitaires p. 62

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

© KAY NIETFELD/DPA/AFP GETTY IMAGES

Emmanuelle Charpentier, PRIX NOBEL 2020

GUÉRIR AVEC LA GÉNÉTIQUE
p. 8

Climat
CE QUE L'ON SAIT
p. 30

NOVEMBRE 2020 - N° 885 ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 885 - F: 5,30 € - RD

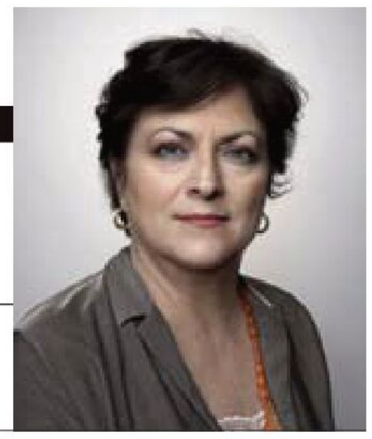
PERRINE LAFFONT

CHAMPIONNE OLYMPIQUE DE SKI DE BOSSES, 3 FOIS VICTORIEUSE DE LA COUPE DU MONDE

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans -75748 Paris CEDEX 15.

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

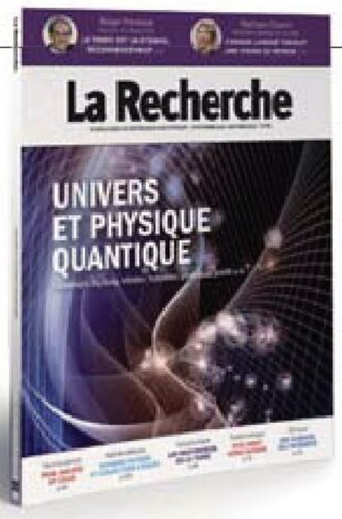


BERNARD MARTINEZ

Un Nobel millésimé

L'excellence aussi connaît des sommets particulièrement remarquables, et les Nobel du millésime 2020 en sont la preuve. Raison pour laquelle *Sciences et Avenir-La Recherche* a décidé ce mois-ci de leur consacrer couverture et premières pages. En majesté, la Française Emmanuelle Charpentier, biologiste, dont les travaux ont conduit à l'invention d'un des outils les plus influents de la génétique d'aujourd'hui : « *Tout a changé avec CRISPR* », écrit ainsi le journaliste Hervé Ratel dans l'article détaillant ce qu'il faut appeler une révolution dans les laboratoires de biologie *(pp. 8-11)*. Rien de moins qu'une méthode permettant de « *réécrire le code de la vie* », selon Goran Hansson, secrétaire général de l'Académie royale des sciences suédoise. Mais s'en tenir au seul cocorico serait malvenu, devant deux autres faits saillants. Une première, d'abord : ce sont deux femmes qui ont obtenu ce prix Nobel de chimie — outre Emmanuelle Charpentier, qui exerce à Berlin, à l'Institut Max-Planck de biologie des infections, l'Américaine Jennifer Doudna, de l'université de Berkeley (Californie). Belle avancée pour les femmes scientifiques (hors médecine), sept seulement — dont Marie Curie — sur 186 lauréats depuis 1901. Second point notable : l'importance de l'éthique. Des questions difficiles surgissent en effet d'une possibilité d'action rapide sur le génome des êtres vivants, dont celui des humains. Le meilleur comme le pire dans l'éprouvette. « *De nouvelles approches thérapeutiques à des maladies humaines graves* », voilà ce que nous disait espérer de l'outil CRISPR-Cas9 Emmanuelle Charpentier en 2016 *(p. 13)*. Or on sait qu'un « apprenti sorcier » tel He Jiankui (université de Shenzhen, Chine) s'est prévalu dès 2018 de pareille approche pour modifier le patrimoine génétique d'enfants à naître. Et ce, en dehors de toutes règles éthiques. D'où le souhait actuel de la communauté scientifique : disposer d'un code de bonne conduite. Il faut contrôler l'outil, aussi excellent et millésimé soit-il. ■

@dominiqueleglu



La Recherche en kiosque le 5 novembre

Le trimestriel scientifique de référence *La Recherche*, avec la collaboration de nombreux scientifiques, sera disponible en kiosque et en librairie le 5 novembre. En couverture, le grand dossier « Univers et physique quantique » (40 pages). À l'honneur, Roger Penrose, prix Nobel de physique 2020; Barbara Cassin, médaille d'or du CNRS. Retrouvez aussi les chroniques numérique, transition énergétique, éthique, et articles de multiples sciences (neurosciences, paléontologie...).

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Pour joindre la rédaction : 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrices de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01 - Carole CHATELAIN (adjointe) - 01.55.35.56.57

Rédacteur(trice)s en chef
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59 - Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Maryvonne MARCONVILLE (directrice artistique) - 01.70.98.19.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chef(fe)s de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07

Chef de service adjoint
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33 -
Sylvain GUILBAUD (fondamental) - 01.70.98.19.38 - Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54 - Bérénice ROBERT (environnement) - 01.70.98.19.34

Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78 - Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 - Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03 -Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40 - Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

Chroniqueurs
Aurélien ALVAREZ, Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH

Ont participé à ce numéro
Thomas ALLARD, Pierre BERLOQUIN, Sylvie BRIET, Pierre KALDY, Florentin ROY,

Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17 - Anaëlle BRUYAND (1re secrétaire) - 01.70.98.19.35

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41

Pôle digital
Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56- Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41 - Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital

Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication Christophe PERRUSSON

Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc
60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.

Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Directeur de publicité
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

Administration des ventes
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Directeur commercial Valéry SOURIEAU

Partenariat Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

Directeur des abonnements Luc BONARDI

Responsable des abonnements
Lina QUACH - 01.55.35.56.63

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**

Secrétaire général Jean-Claude Rossignol

Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.

PEFC 10-31-3364
PEFC recyclé
Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées.
pefc-france.org

Origine du papier : Italie

Taux de fibres recyclées : 0 %

Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/ tonne de papier

Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

ACPM OJD DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un message « Sophia Boutique » sur la totalité de la diffusion abonnés; ainsi qu'un message « Sciences Humaines », un message « L'objet du mois – L'Obs-Corto Maltese », un message « L'Histoire » sur une partie de la diffusion abonnés.. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

LA CITÉ DES CONGRÈS DE NANTES II DU 29 OCTOBRE AU 1ER NOVEMBRE 2020

WWW.UTOPIALES.ORG

NANTES UTOPIALES

FESTIVAL INTERNATIONAL DE SCIENCE-FICTION

©Alex Alice

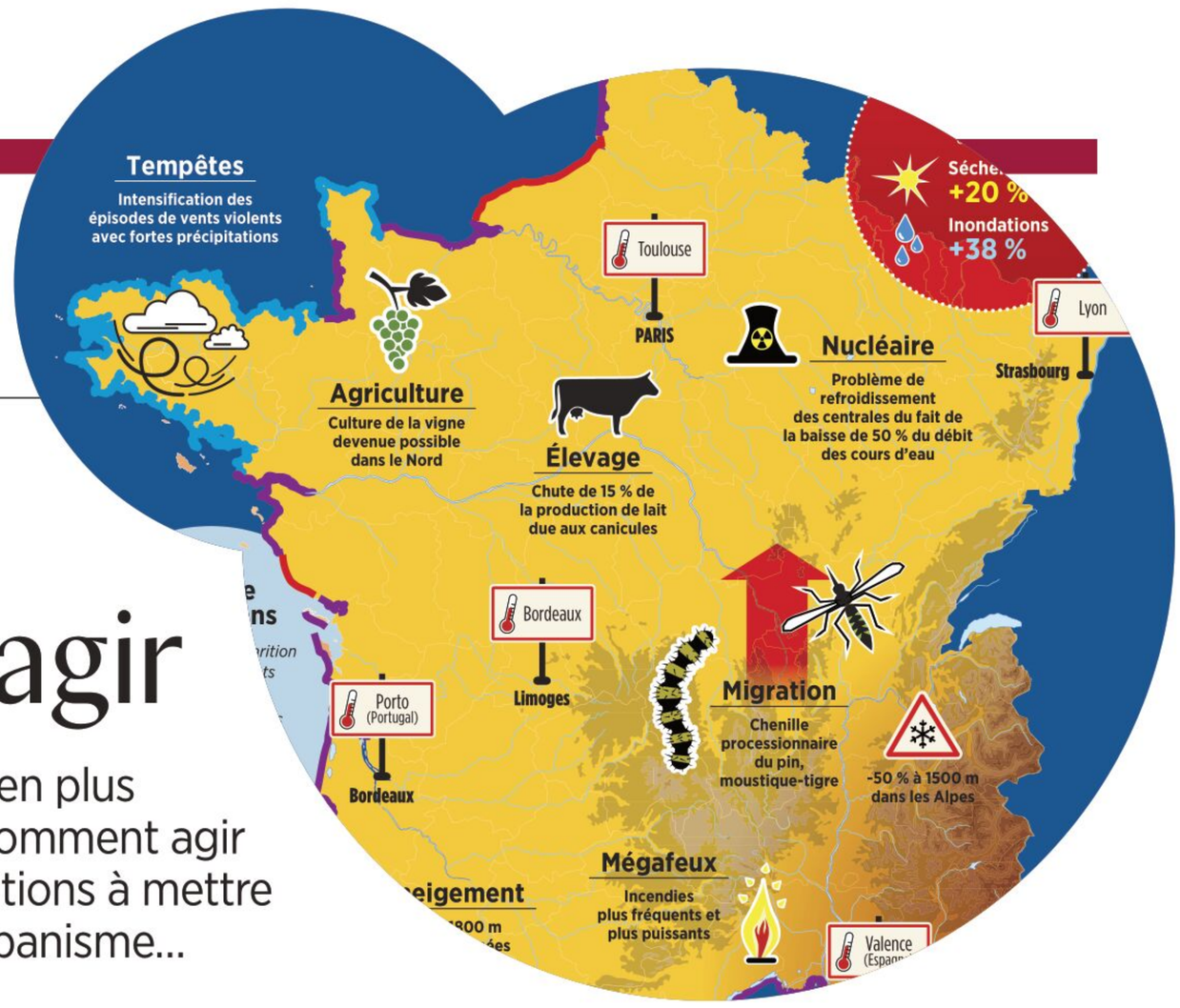
SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche
N° 885 - Novembre 2020

DOSSIER P. 30

CLIMAT, Il faut agir

Des phénomènes météorologiques violents de plus en plus fréquents témoignent du changement climatique. Comment agir avant qu'il ne soit trop tard ? Tour d'horizon des solutions à mettre en place d'urgence dans l'industrie, l'agriculture, l'urbanisme…



3 **Édito** par Dominique Leglu

7 **Courrier**

ÉVÉNEMENT

8 **Prix Nobel 2020**

SCIENCES FONDAMENTALES

18 **ACTUALITÉS** / Un réseau de lacs au pôle sud de Mars / Un bateau qui flotte à l'envers / Du gaz comprimé pour amplifier un signal lumineux

42 **Bételgeuse, étoile à l'agonie**

46 **Un labo français va développer ses propres satellites de poche**

49 **A-t-on vraiment découvert des traces de vie sur Vénus ?**

50 **Les voitures autonomes et le casse-tête de la fluidité du trafic**

53 **La machine surpasse l'humain au curling**

NATURE

22 **ACTUALITÉS** / Pourquoi le bleu et le vert sont si vifs dans la nature / Le renouvelable dépasse le nucléaire / Une baleine a battu le record d'apnée

54 **Le grand inventaire des abysses**

60 **En un siècle, le camembert est passé du vert au blanc**

61 **Un datacenter sous-marin refroidi à l'eau de mer**

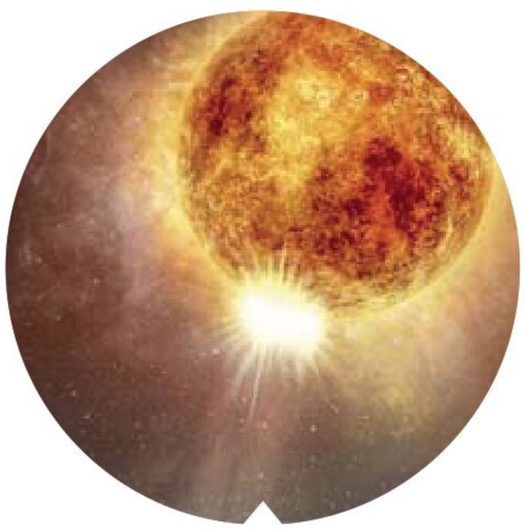
SANTÉ

26 **ACTUALITÉS** / Les aliments au nutri-score mauvais sont associés à une mortalité accrue / La stimulation cérébrale aide les dyslexiques à lire

62 **Covid-19 : comment l'organisme se défend**

66 **Dossier spécial : lutter contre les virus de l'hiver**

Emmanuelle Charpentier, prix Nobel de chimie pour un outil génétique révolutionnaire **p. 8**



Bételgeuse est peut-être la première étoile à mourir sous les yeux des astronomes **p. 42**

Covid-19 : la réaction du système immunitaire conditionne l'évolution de la maladie **p. 62**

70 **Comprendre et prévenir les morts subites inexpliquées**

74 **L'éradication des maladies, un très long jeu de patience**

77 **L'étonnant pouvoir de la peau**

78 **Les courges font flamboyer l'assiette automnale**

80 **Dossier spécial digestion**

HISTOIRE

28 **ACTUALITÉS** / Les Vikings n'étaient pas tous de grands blonds aux yeux bleus / *Titanic* : la piste de l'aurore boréale / Des neurones conservés pendant 2000 ans

86 **Wounded Knee : un archéologue français mène l'enquête**

90 **Stonehenge révèle ses secrets**

93 **Ci-gît Montaigne ?**

RENDEZ-VOUS

94 **La Recherche Autour d'un livre**

96 **Sélection livres**

98 **Expositions**

99 **Le ciel de novembre**

100 **Questions de lecteurs**

101 **La Recherche Solution des jeux**

102 **La Recherche Dialogue sur l'avenir du programme de retour sur la Lune des Américains**

106 **La Recherche Jeux**

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

53 **Maths : Aurélien Alvarez**

61 **Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch**

105 **Éthique : Jean-Gabriel Ganascia**

M. BENYEZZAR POUR SCIENCES & AVENIR - LA RECHERCHE - AFP- NASA, ESA, AND E. WHEATLEY (STSCI) - N. KRIEF / DIVERGENCE

ROLANDO SOLO

Rolando Villazón

17h00-18h00

RADIO CLASSIQUE

et votre journée devient plus belle.

© Les Ouvriers Dubo © Laurent Rouvrais

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« À Beyrouth, la répétition d'un scénario trop bien connu »

(*Sciences et Avenir* n° 883, septembre 2020)

Dans le numéro de septembre, à propos de l'explosion de Beyrouth, il est écrit que dans les produits de décomposition du nitrate d'ammonium il y a du dioxyde d'azote, de l'acide chlorhydrique, du chlore, etc. Comment des dérivés chlorés peuvent-ils apparaître alors que le chlore n'est pas présent au départ ?

Michel Duwelz

S. et A. : Il est vrai que nous aurions dû préciser que le dioxyde d'azote, l'acide chlorhydrique et le chlore cités entre parenthèses sont ici les produits auxquels ont été exposées les personnes situées à proximité de l'usine AZF, à Toulouse en 2001, où étaient également stockées des substances chlorées. En l'état actuel des choses, on ignore la nature exacte des produits qui ont composé le nuage formé à la suite de l'explosion à Beyrouth.

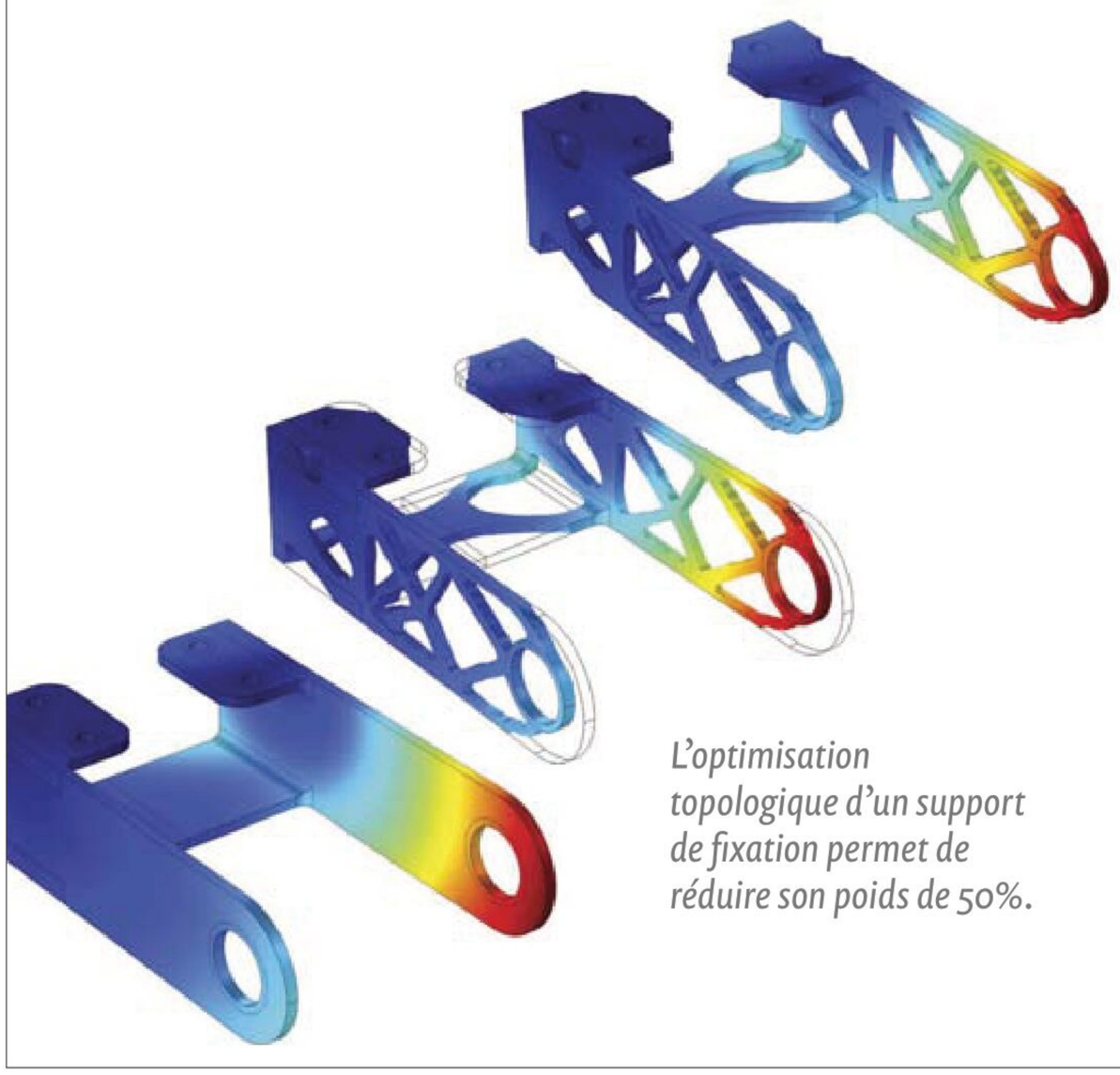
Le génome des Français

Dans l'article « L'histoire de France se lit dans nos gènes » (*S. et A.* n° 879, mai 2020), j'ai bien saisi que l'étude du génome de 2184 Français a amené à comprendre le peuplement de notre territoire. Mais sur quels critères ces Français ont-ils été sélectionnés pour l'étude ? En effet, un grand nombre d'entre nous possède des ancêtres récents provenant d'autres pays (Espagne, Portugal, Italie, etc.). J'imagine donc que le génome pourrait être « faussé », ne retraçant pas nécessairement le peuplement de la France, mais plutôt celui d'un autre territoire. Qui plus est, d'autres Français ne le sont que depuis très récemment (un étranger fraîchement naturalisé par exemple).

Julien Lepoutre

S. et A. : Les cohortes utilisées pour cette étude sont issues de deux grandes études de santé réalisées dans les années 1990 et 2000 sur des adultes nés en France, pour la plupart avant les années 1970. Il est probable que certaines de ces personnes sont d'origine étrangère (donc de deuxième génération), mais elles sont forcément minoritaires, à l'image de leur proportion dans la totalité de la population française aujourd'hui (et encore plus avant les années 1970). Puisque l'étude prend en compte le lieu de naissance des personnes, il est très probable que la majorité d'entre elles sont originaires de cette région (il y avait aussi moins de déplacements entre les régions). Donc, même si certaines personnes de l'échantillon sont venues d'un autre pays ou d'une autre province, elles restent peu nombreuses et leur effet sur une cohorte si importante est minime.

Quel est le meilleur design pour un support de fixation ?



L'optimisation topologique d'un support de fixation permet de réduire son poids de 50%.

Cela dépend des objectifs de conception. Les méthodes d'optimisation topologique permettent de trouver la meilleure version possible d'une structure pour un usage spécifique. Un support peut être optimisé pour un seul type de chargement, tandis qu'un autre est optimisé pour huit. La fonctionnalité Density Model simplifie le processus d'optimisation topologique pour les ingénieurs en calcul de structure.

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment vous pouvez l'appliquer pour l'optimisation topologique.

comsol.blog/density-topology

COMSOL

Un tournant

La cuvée 2020 des Nobel restera dans les annales. Tout d'abord en raison du contexte de crise sanitaire mondiale, qui a interdit toute cérémonie collective de remise des récompenses — dotées de 740 000 euros. Mais aussi — et surtout — en raison des critères de choix des lauréats qui marqueront sans nul doute un tournant. Notons en premier lieu que les femmes sont enfin à l'honneur puisque trois chercheuses ont été désignées : Andrea Ghez (physique) ; Jennifer Doudna et la Française Emmanuelle Charpentier (chimie), toutes deux colauréates sans *alter ego* masculin, une première. Autre particularité : leur « jeune » âge, la cinquantaine, qui les hisse parmi les benjamines des Nobel. Cet âge étant corrélé au choix très inhabituel de récompenser des découvertes récentes. Ainsi du trou noir de notre galaxie, Sagittarius A*, qu'Andrea Ghez a contribué à décrire ces vingt dernières années ; et surtout de l'outil CRISPR, dont la découverte date d'à peine... huit ans. Prudence cependant : le jury s'est mis à l'abri de toute polémique sur les dérives potentielles de l'utilisation de ces « ciseaux » génétiques en le désignant dans la catégorie... chimie. ■

Carole Chatelain

@carolechatelain

CHIMIE

CRISPR-Cas9, la révolution génétique

La Française Emmanuelle Charpentier et l'Américaine Jennifer Doudna ont été récompensées pour leur invention du système d'édition génétique qui offre des perspectives inédites en médecine.

Par Hervé Ratel

C'ÉTAIT L'ARLÉSIENNE des prix Nobel. Ces dernières années, le système révolutionnaire de modification génétique CRISPR-Cas9 faisait toujours partie de la liste des pronostiqueurs... chaque fois déçus. Enfin ! ont dû soupirer nombre de généticiens et biologistes qui eux aussi attendaient depuis des années que le comité suédois récompense cette découverte, dont la publication fondatrice par la Française Emmanuelle Charpentier et l'Américaine Jennifer Doudna date de 2012 dans le magazine *Science*, et qui ouvre des perspectives inédites en médecine *(lire l'encadré p. 10)*. Pourtant, qu'une invention aussi récente soit récompensée aussi vite est totalement exceptionnel. Il faut en effet vingt ans en moyenne et souvent bien plus entre une découverte et sa consécration par le prestigieux prix. Le record étant détenu par le virologue Francis Peyton Rous (1879-1970) qui reçut le Nobel de médecine en 1966, cinquante ans après sa découverte.

AFP

Les lauréates
(de gauche à droite)

Emmanuelle Charpentier (France), institut Max-Planck de biologie des infections, Berlin (Allemagne) (depuis 2015).
Jennifer Doudna (États-Unis), université de Californie, Berkeley.

Une adoption fulgurante dans les laboratoires

Il faut dire que CRISPR n'est pas une invention « classique » tant son adoption par les laboratoires du monde entier a été fulgurante. Du jamais-vu de mémoire de biologiste. Comme Jennifer Doudna nous le confiait en mars 2016 à l'occasion de la remise du prix L'Oréal-Unesco : *« Même si nous suspections, Emmanuelle et moi, le potentiel de CRISPR, nous n'avions pas anticipé son incroyable succès et son adoption dans la plupart des laboratoires de biologie et sur tous les êtres vivants. »* Cette influence déborde le simple cadre scientifique. En effet, la technique suscite de tels espoirs qu'on la retrouve désormais mise

BERND VON JUTRCZENKA / DPA / AFP

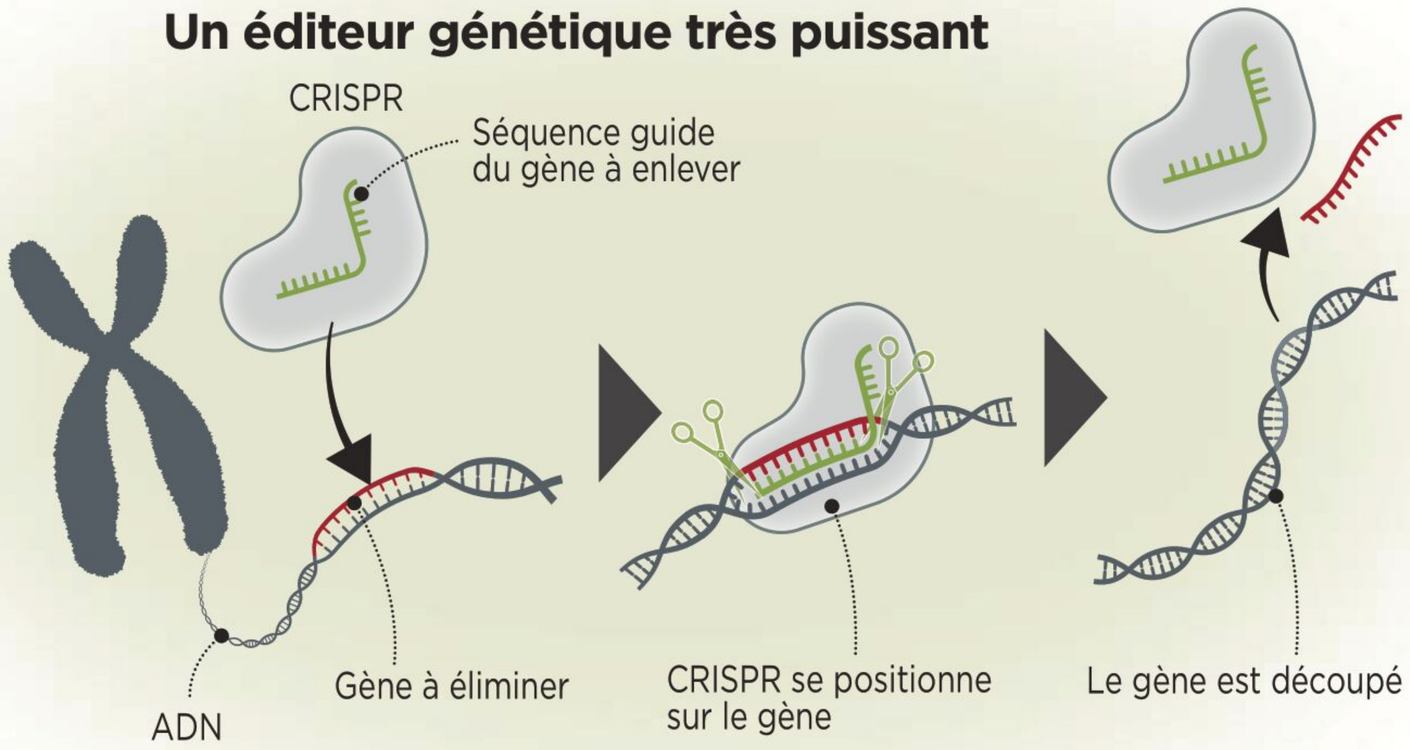
Emmanuelle Charpentier est titulaire d'un doctorat en microbiologie, obtenu à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Elle est membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies (ici à l'Institut Max-Planck, à Berlin, le 12 octobre).

X-Files. CRISPR a en effet tout pour plaire. Avant son avènement, les biologistes entamaient un travail de longue haleine lorsqu'ils souhaitaient étudier l'effet d'un gène dans un organisme. Il fallait pour cela exposer beaucoup d'animaux à des agents mutagènes, puis chercher parmi eux, celui qui — par chance — était porteur de la mutation désirée. C'était long (un an pour obtenir une lignée mutante stable chez une souris), pénible et pas nécessairement couronné de succès tant les chercheurs manquaient de contrôle sur l'arbitraire des mutations induites.

Tout a changé avec CRISPR. Désormais, en moins de deux heures, le généticien détermine la séquence du gène à cibler et passe commande à des entreprises spécialisées dans la confection de brins d'ADN afin d'obtenir, moins d'un mois plus tard, les mutants recherchés. CRISPR a aussi éliminé ses concurrents directs : les autres enzymes d'édition génétique (les TALENs ou les « nucléases à doigts de zinc ») qui ne sont pas aussi rapides ni efficaces, et qui sont, surtout, environ 200 fois plus coûteuses. *« En utilisant la métaphore informatique, on pourrait dire que ces outils sont des ordinateurs là où CRISPR est un programme. C'est dire si ces méthodes sont lourdes car elles nécessitent de fabriquer des protéines nouvelles pour chaque nouvelle expérience. Avec CRISPR, il suffit d'écrire quelques lignes de programme, c'est-à-dire la portion d'ADN correspondant au gène visé. »*, détaille Jennifer Doudna. À l'origine, CRISPR appartient à l'arsenal bactérien et constitue une forme de système immunitaire qui réagit quand un virus

LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez d'autres articles sur CRISPR sur notre site
Un potentiel inexploité : sciav.fr/885potentiel
Une efficacité durable : sciav.fr/885efficacite

Un éditeur génétique très puissant



BRUNO BOURGEOIS

En fournissant à CRISPR la séquence du gène à éditer, il devient possible de le guider précisément à l'endroit voulu par les chercheurs afin de modifier ce gène sur l'ADN.

envahit une bactérie. Il reconnaît l'intrus et découpe son ADN afin d'éliminer la menace. La contribution des deux lauréates aura consisté à reprogrammer ces ciseaux moléculaires de manière à ce qu'ils ne soient plus seulement capables de reconnaître l'ADN viral mais tous les ADN, et de pouvoir contrôler précisément les sites de coupure. Avec ces modifications, les chercheuses sont parvenues à domestiquer CRISPR pour en faire un outil d'édition génomique, comme la recherche en fantasmait depuis plus d'un demi-siècle. Et cela attire forcément la convoitise d'« apprentis sorciers » qui espèrent s'emparer de la technique pour se livrer à des expériences sans respecter les règles éthiques. Dernier exemple en date et le plus spectaculaire : la naissance en Chine fin 2018 de jumelles, Lulu et Nana, dont le patrimoine génétique a été modifié par He Jiankui (université des sciences et de technologies du Sud, Shenzhen, Chine) afin qu'il n'exprime plus le gène CCR5, clé d'entrée du virus du sida.

Quelques défauts de jeunesse subsistent

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a eu beau condamner fermement ces manipulations, il est à craindre qu'elles ne soient pas les seules menées sur des êtres humains. Pour l'instant, CRISPR présente encore quelques défauts de jeunesse, notamment une tendance à commettre des erreurs et à modifier des gènes différents de celui ciblé, qui freinent son utilisation en médecine humaine. Mais ce n'est que provisoire. D'où la nécessité de bâtir dès aujourd'hui des contre-feux, alertent un grand nombre de chercheurs.
En 1975, s'était tenu le congrès d'Asilomar qui s'inquiétait alors de la dissémination des OGM. Beaucoup de scientifiques, dont Jennifer Doudna, appellent aujourd'hui à la tenue d'un second congrès du même type sur les risques éthiques posés par la technologie CRISPR. Même si la nobélisée n'est pas dupe : *« Il sera impossible de s'assurer d'un usage totalement "vertueux" de la technique. Mais, il est essentiel que la communauté scientifique mondiale parvienne à un consensus concernant les règles de bonne conduite à adopter. »* ■

APPLICATIONS

De nouvelles frontières pour la médecine

Initialement très fondamentaux, les travaux d'Emmanuelle Charpentier et de Jennifer Doudna sur l'outil génétique CRISPR ouvrent des perspectives inédites en médecine. Une cinquantaine d'essais cliniques, toutes pathologies confondues, sont déjà en cours chez l'humain ! Au moins un se prépare en France où, contrairement à une idée répandue, la technique est autorisée, sauf concernant la manipulation d'embryons humains comme partout ailleurs dans le monde.
Les maladies dites monogéniques [un seul gène impliqué] — aujourd'hui incurables — sont la cible principale. Des essais cliniques sont conduits en Amérique du Nord et en Europe pour traiter la drépanocytose ou la bêta-thalassémie qui affectent l'hémoglobine. Objectif : espérer remplacer la greffe de moelle osseuse en modifiant — avec CRISPR — certaines cellules pour rétablir l'activité d'un gène produisant une hémoglobine différente chez l'embryon et juste après la naissance. Les prochaines cibles pourraient être les dystrophies musculaires — dont la myopathie de Duchenne déjà corrigée avec succès chez des chiens et sur des cellules cardiaques humaines *in vitro* —, l'amyotrophie spinale, la maladie de Huntington... et même le sida. D'abord infectieuse, cette maladie devient en effet génétique quand le génome viral s'incorpore à celui de l'hôte. Des chercheurs de l'université du Nebraska (États-Unis) ont réussi à l'éliminer chez la souris en combinant CRISPR et traitements antiviraux. Espoirs aussi pour traiter certains cancers en modifiant des cellules immunitaires (lymphocytes T) pour qu'elles reconnaissent et attaquent une protéine exprimée par des cellules cancéreuses.
Un premier essai chez trois personnes conduit par l'université de Pennsylvanie (États-Unis) a montré en février que cette approche était bien supportée. Reste à se concentrer sur son efficacité. **Mathieu Nowak**

« Il y a toujours un risque que CRISPR-Cas9 soit mal utilisé »

Emmanuelle Charpentier avait accordé un entretien à « Sciences et Avenir » en octobre 2016, publié alors sur notre site. En voici des extraits.

MARK SCHIEFELBEIN / AP/ SIPA

Les manipulations génétiques avec CRISPR sont autorisées en France, sauf sur le génome d'embryons comme partout dans le monde (ici en Chine) .

Sciences et Avenir : CRISPR-cas9 pourrait potentiellement être utilisé pour corriger les maladies provoquées par des gènes avant la naissance. La question éthique est de savoir s'il faut ou non s'engager dans cette voie. Quelle est votre position concernant la manipulation du génome des embryons ?

Emmanuelle Charpentier : Il y a de nombreux collèges d'experts de différentes académies nationales scientifiques ainsi que des groupes politiques dont la mission est de comprendre l'enjeu de cette technologie et d'en discuter les usages potentiels, au-delà de l'utilité du système pour la recherche et le développement. Chacun peut facilement suivre ces débats, toutes les publications des experts participants étant accessibles en ligne.

Mon avis est qu'il n'est pas nécessaire pour le moment d'autoriser la manipulation des lignées germinales : la plupart des pays européens ont ratifié la convention pour la protection des droits et de la dignité de l'être humain en rapport avec l'application de la biologie et de la médecine [convention d'Oviedo, 1997] qui interdit strictement la manipulation du génome des cellules germinales humaines dans le cadre de la procréation médicalement assistée.

LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'intégralité de l'entretien sur notre site : sciav.fr/885Charpentier

Si l'on ne peut stopper l'utilisation de CRISPR-Cas9, peut-on la réguler ?

CRISPR-Cas9 est un nouvel outil qui a été exploité à partir d'une bactérie. La technologie a des applications à travers divers domaines de la science, y compris la recherche fondamentale, la médecine humaine et vétérinaire, la biotechnologie agricole, etc. Sa large applicabilité et sa simplicité d'utilisation sont les raisons pour lesquelles il a été rapidement adopté par la communauté scientifique.

L'une des applications les plus importantes pourrait être son potentiel à fournir de nouvelles approches thérapeutiques à des maladies humaines graves. C'est là que la technologie changera, on l'espère, la vie de beaucoup de patients qui souffrent actuellement de maladies sévères. Stopper l'utilisation de CRISPR-Cas9 voudrait aussi dire stopper le développement de thérapies prometteuses.

CRISPR est considéré comme un outil de biologie révolutionnaire. Qu'est-ce qu'il ne peut pas faire ?

Pour certaines applications, il y a encore le problème des mutations dites hors cibles — c'est-à-dire non voulues — qui ne pourront probablement jamais être totalement exclues. Un tel événement peut conduire à une génotoxicité significative, voire une oncogénicité [développement d'un cancer] si la mutation génétique se produit à proximité d'un oncogène [gène dont l'expression favorise la survenue d'un cancer].

La facilité apparente de l'usage de CRISPR ne risque-t-elle pas de conduire des scientifiques « amateurs » à tenter des expériences ?

Ceux qui ont déjà essayé de cultiver des bactéries savent à quel point il faut maîtriser certaines connaissances techniques et posséder un laboratoire adapté. Mais si vous prônez la liberté de la recherche et un accès ouvert aux résultats, il y a toujours le risque que cette connaissance soit mal utilisée. ■

Propos recueillis par Elena Sender
@ElenaSender

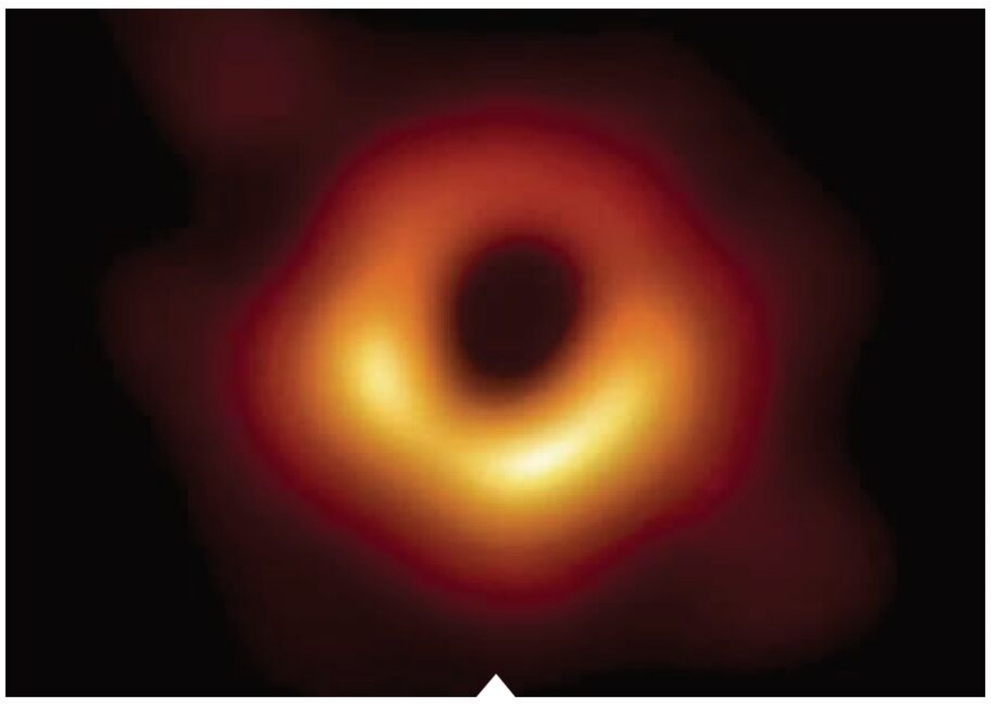
PHYSIQUE

La saga de la découverte des trous noirs à l'honneur

La description mathématique de cet astre fascinant, formulée en 1965 par le Britannique Roger Penrose, a ouvert la voie à de nombreuses découvertes comme celle du trou noir de notre galaxie par l'Allemand Reinhard Genzel et l'Américaine Andrea Ghez.

Mystérieux, inspirants, contre-intuitifs, fantasmagoriques... les trous noirs sont tout cela à la fois ! Aux yeux des physiciens, ces astres sont en outre un formidable creuset de nouvelles idées. Car, comme l'a déclaré l'Américaine Andrea Ghez, 55 ans, astrophysicienne à l'université de Californie à Los Angeles, aussitôt après sa nomination au Nobel de physique, *« il est très difficile de conceptualiser un trou noir. Les lois de la physique y sont si différentes de celles qui opèrent sur Terre que nous n'avons aucune intuition des choses que l'on cherche »*. Ainsi, les décrire finement nécessite une nouvelle théorie dite de la gravité quantique dont les chercheurs ne disposent pas encore et qui est considérée comme le graal de la discipline. Des objets fascinants auxquels les colauréats de ce prix, le Britannique Roger Penrose, 89 ans, célèbre mathématicien du Birkbeck College de Londres (Royaume-Uni) et l'Allemand Reinhard Genzel, 68 ans, de l'institut Max-Planck à Munich (Allemagne), ont aussi consacré leurs recherches.

Les trous noirs sont ces astres qui développent un champ gravitationnel si intense qu'ils attirent et avalent tout ce qui passe à leur proximité : lumière et matière sont englouties à jamais. Leur histoire s'inscrit dans la loi de la gravitation formulée en 1687 par Isaac Newton et qui décrit le monde grâce à l'attraction à distance entre les masses. Mais Albert Einstein est venu bouleverser tout cela au début du xx^{e} siècle en considérant la gravitation comme une propriété de l'espace-temps. Autrement dit, *« la Terre n'attire pas la pomme à distance, elle déforme l'espace-temps et la pomme n'a plus qu'à se laisser glisser sur cette déformation comme un enfant qui glisse sur un toboggan,* explique David Elbaz, cosmologiste à l'Institut de recherche fondamentale sur les lois de l'Univers (Irfu) au CEA (Saclay, Essonne). *Cela suscite beaucoup de questions : existe-t-il une limite à la déformation que l'on peut imposer à l'espace-temps ? Peut-on étirer le temps à l'infini et comprimer l'espace à l'infini ?* » La réponse est oui ! Et c'est ce qui est appelé mathématiquement une singularité. Le trou noir est précisément un objet qui contient cette singularité de l'espace-temps. Certaines étoiles en fin de vie peuvent ainsi devenir théoriquement tellement compactes qu'elles développent une telle singularité. *« Dans les modèles élaborés alors par les astrophysiciens, l'étoile en question était parfaitement à symétrie sphérique et il se pouvait très bien que la formation de la singularité ne soit qu'un artefact résultant de cette symétrie »*, précise Éric Gourgoulhon, directeur de recherche au CNRS au Laboratoire Univers et théorie (Luth) à l'observatoire de Paris. Un astre parfaitement sphérique étant peut-être une perle rare dans la nature... voire inexistante. Et c'est là que Roger Penrose a apporté une nouvelle pierre fondamentale à l'édifice. *« En 1965, il a rédigé trois pages — illustrées par un schéma de sa propre main — démontrant qu'au-delà d'un certain stade d'effondrement, il était inévitable d'atteindre une singularité, même si l'étoile n'a aucune symétrie*, poursuit Éric Gourgoulhon. *C'est précisément ce travail que le prix Nobel*



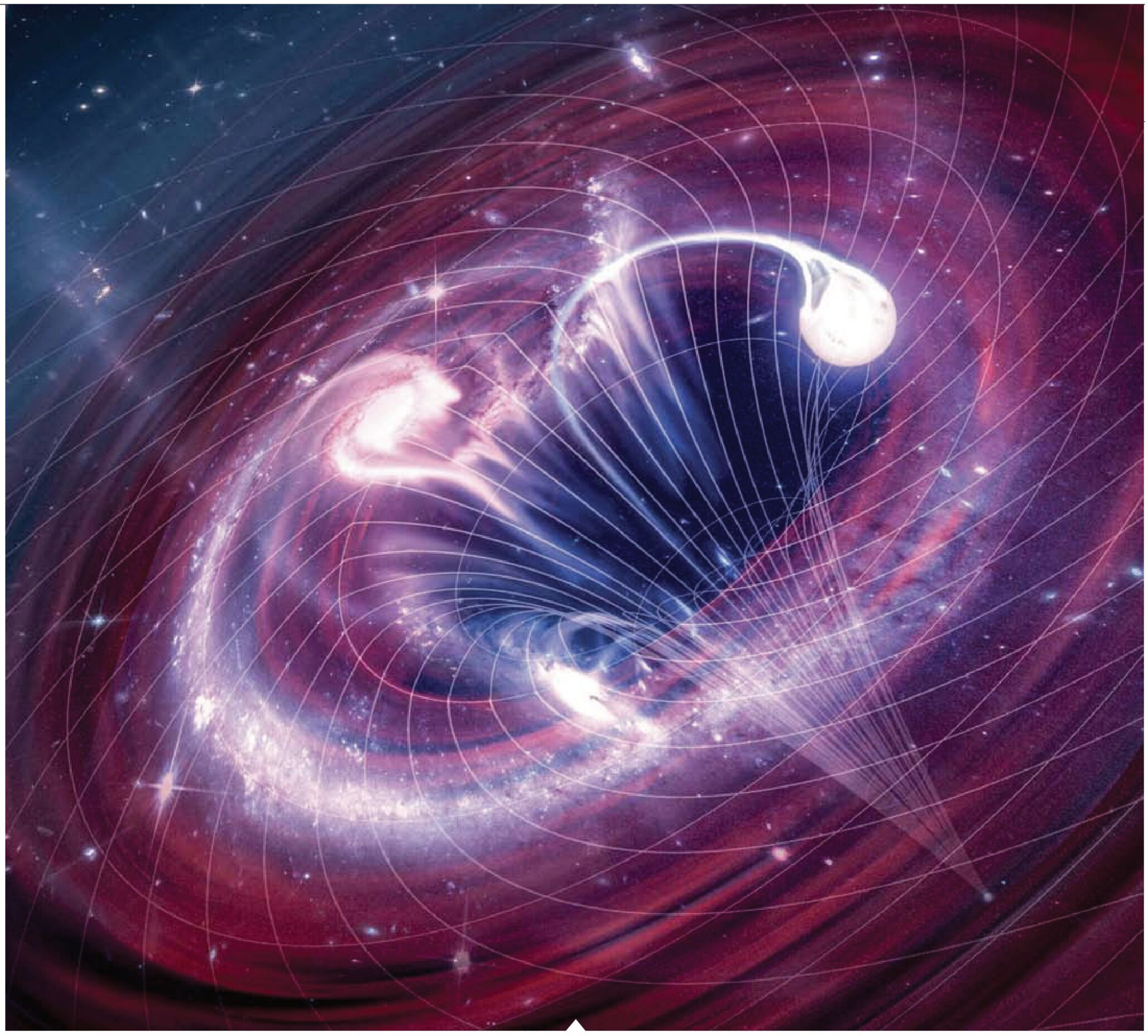
EHT COLLABORATION

Première image d'un trou noir, celui de la galaxie M87, en 2019.

AFP

Les lauréats
(de gauche à droite)

Roger Penrose (Royaume-Uni), Birbeck College de Londres.
Rheinhard Genzel (Allemagne), Institut Max-Planck de Munich.
Andrea Ghez (États-Unis), université de Californie à Los Angeles.



TOBIAS ROETSCH/FUTURE PUBLISHING/GETTY IMAGES

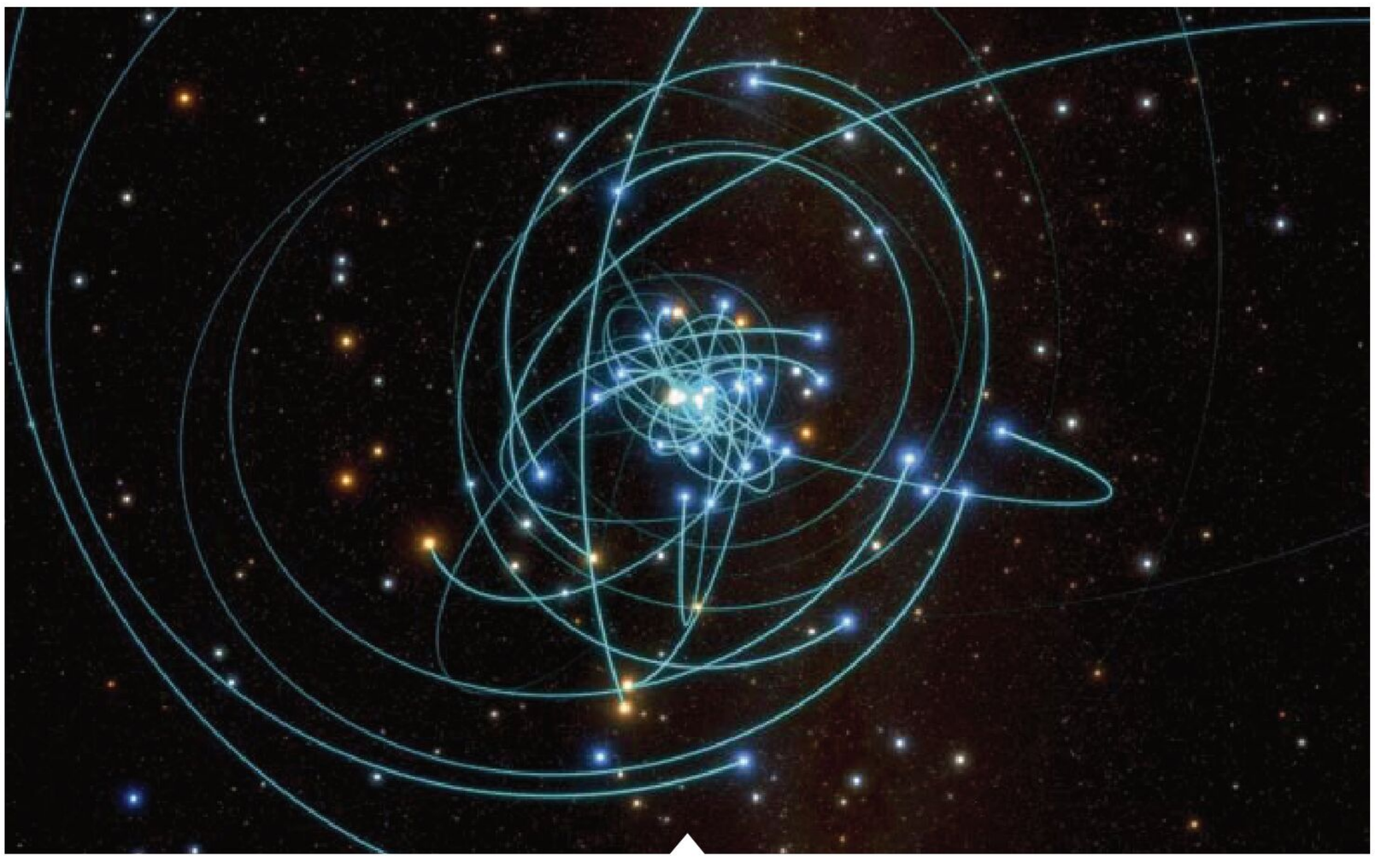
Le champ gravitationnel des trous noirs est si intense qu'ils avalent tout ce qui passe à proximité — matière et lumière (illustration).

vient de récompenser. Par la suite, Roger Penrose a amélioré ses travaux avec la collaboration du célèbre astrophysicien Stephen Hawking. »
Cette publication a ainsi fait sauter un verrou, dix ans après la mort d'Einstein, permettant aux astrophysiciens d'envisager l'existence réelle de ces astres très compacts. Le premier d'entre eux fut identifié au début des années 1970 : Cygnus X1 — une étoile de 8 masses solaires au sein d'un système d'étoiles doubles niché à 6000 années-lumière de la Terre dans la constellation du Cygne.

Après ce coup de génie, Roger Penrose est retourné à ses chères mathématiques — problèmes de pavage et d'intelligence artificielle — tout en suivant l'évolution des idées dans de nombreux domaines, dont la cosmologie.
Les astrophysiciens, de leur côté, ont poursuivi leur exploration du ciel à la recherche de ces étrangetés. Puisque aucune lumière n'est émise par le trou noir, ils ont appris à repérer le rayonnement de haute énergie — essentiellement dans le domaine des rayons X — qu'émet la matière chauffée et tiraillée en attente d'être engloutie. Sa détection témoigne en effet indirectement de la présence d'un trou noir. C'est ainsi qu'un grand nombre d'entre eux, ayant quelques dizaines de masses solaires , d'où leur nom « trous noirs stellaires », ont été débusqués au sein de la Galaxie. Par ailleurs, des astres énigmatiques très lumineux et lointains, baptisés quasars, se révélaient être comme des trous noirs supermassifs formant le noyau des galaxies. Des monstres regroupant plusieurs centaines de millions voire

quelques milliards de fois la masse du Soleil, présents dans la très grande majorité des galaxies. Dès lors, au début des années 1990, les chercheurs se sont interrogés sur la Voie lactée : renfermait-elle aussi un tel astre ? Les observateurs ne détectant pas d'émissions X, d'aucuns envisageaient ce monstre local comme « inactif » et « endormi », si toutefois il existait bien. Il fallait donc imaginer d'autres stratégies pour le surprendre. En particulier observer l'orbite des étoiles les plus proches, car celle-ci devait sans doute être affectée par la masse de l'astre imprégnant un champ gravitationnel intense. Et ce sont deux équipes, de part et d'autre de l'Atlantique, qui se sont donné pour mission de suivre ces étoiles dans la direction du Sagittaire, à 26 000 années-lumière de la Terre. Celle de l'Allemand Reinhard Genzel a utilisé les télescopes de l'Observatoire européen austral (ESO) au Chili, tandis qu'Andrea Ghez se concentrait sur les données de l'observatoire Keck à Hawaii (États-Unis). *« Les quatre très grands télescopes (VLT) de l'ESO ont été conçus comme un interféromètre géant avec le soutien actif de l'astrophysicien français Pierre Léna puis de Reinhard Genzel lui-même. En combinant la lumière acquise par chaque télescope de huit mètres, c'est comme si l'observatoire disposait d'un instrument de 100 m de diamètre*, explique Thibaut Paumard, chargé de recherche CNRS à l'observatoire de Paris. *Quant aux deux télescopes Keck de dix mètres, les plus grands du monde, ils n'ont expérimenté le mode interférométrique que plus tardivement.* » Mais les deux équipes sont alors parvenues à « attraper » la brillante étoile S2, l'une des plus proches du centre de notre galaxie, et ne l'ont plus lâchée, suivant son orbite. Ce qui a permis à Reinhard Genzel et ses collaborateurs en 1997 de cartographier les astres au voisinage du centre de la Voie lactée et de publier un article apportant les preuves de l'existence d'un trou noir en son centre nommé Sgr A* (Sagittarius A*). Ce que l'équipe d'Andrea Ghez a confirmé l'année suivante. *« Ce sont ces résultats, obtenus séparément, que le comité Nobel a couronnés »*, précise Thibaut Paumard.

Depuis, l'environnement de Sgr A* a été l'objet de toutes les attentions. Pour suivre très précisément l'orbite de l'étoile S2, l'équipe allemande a lancé — en étroite collaboration avec le laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lesia) de l'observatoire de Paris et de l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (Ipag) — des instruments très sensibles : NACO, SINFONI, puis Gravity, des « bijoux » high-tech qui sont ▶



L. CALCADA/ESO/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Simulation des orbites des étoiles proches du trou noir de notre galaxie (au centre de l'image).

OBSERVATION

Les trous noirs de masse intermédiaire

Pendant longtemps, les astrophysiciens n'en connaissaient que deux catégories : les trous noirs stellaires d'une dizaine de masses solaires et les supermassifs, de millions voire de centaines de millions de masses solaires. Il faut désormais compter avec ceux de masse intermédiaire, entre 100 et 1000 masses solaires, dont la première preuve directe a été apportée grâce à l'événement du 21 mai 2019, qui n'a été publié qu'en septembre dernier. Ce jour-là, les antennes des observatoires LIGO (États-Unis) et VIRGO (Italie) ont enregistré une onde gravitationnelle désignée par GW190521. L'un de ces « frissons » qui parcourent l'espace-temps, détectés pour la première fois en 2015, plus d'un siècle après leur prédiction par Einstein. Une telle onde est émise lors de la fusion de deux trous noirs dont une fraction de la masse se convertit en énergie et fait osciller l'espace tout entier. À l'origine de GW190521, deux astres compacts respectivement de 65 et 85 masses solaires ayant formé un trou noir de 142 masses solaire. Or cette variété n'avait jamais encore été découverte de manière directe. Les trous noirs de masse intermédiaire pourraient bien apporter quelques explications sur la formation de leurs cousins supermassifs. **A. Kh.**

Rapportez votre ancien téléphone et il vous rapportera.

Vos anciens téléphones peuvent encore avoir de la valeur et vous faire bénéficier d'une remise. Ces téléphones pourront ainsi être reconditionnés pour préserver les ressources de la planète.
Rapportez vos anciens téléphones en boutique,
Orange estime leur valeur et vous les reprend.

re | reprise
reconditionné
recyclage

Reprise en France métropolitaine, réservée aux particuliers propriétaires de mobiles éligibles. Après évaluation, remise immédiate en caisse ou sous forme de bon d'achat (utilisable en une seule fois et non remboursable) valable deux mois, uniquement dans la boutique émettrice. Ensemble des conditions disponible en boutique Orange ou sur orange.fr

Vous rapprocher de l'essentiel

orange™

venus équiper le VLT de l'ESO. *« Reinhard Genzel fait partie de ces rares chercheurs qui ont une vision à la fois instrumentale et observationnelle de l'astronomie, avec une très grande exigence dans le travail »*, poursuit Thibaut Paumard. En 2009, l'équipe allemande qui avait déjà suivi l'étoile pendant seize ans, estimait la masse du trou noir à environ 4,3 millions de masses solaires, caractérisant ainsi un trou noir supermassif. Elle a également attendu patiemment le rendez-vous cosmique de mai 2018, S2 atteignant alors le point de son orbite le plus proche de Sgr A*. *« Grâce à l'instrument Gravity, plusieurs effets subtils prédits par la relativité générale ont été repérés pour la première fois »*, explique Thibaut Paumard.

De nouvelles venues avec un message à décrypter

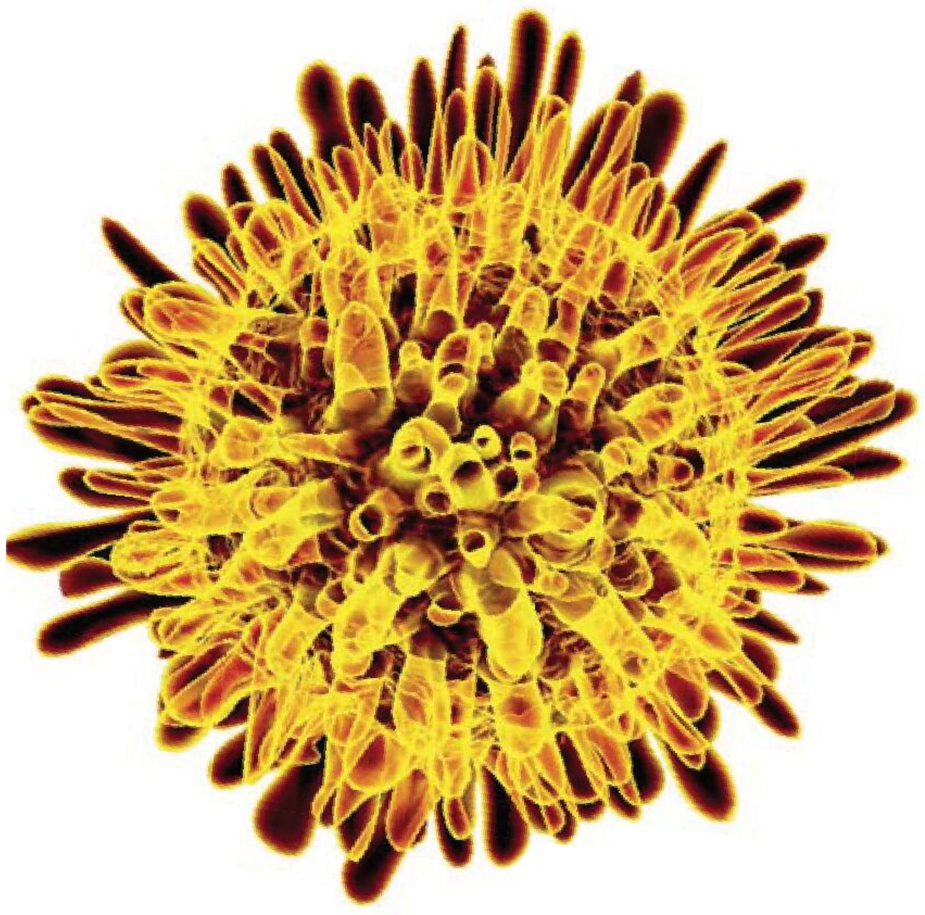
Pendant ce temps-là, de l'autre côté de l'Atlantique, la saine compétition entre les deux équipes a porté ses fruits. Andrea Ghez est parvenue à fournir aussi dès 2008 une estimation de la masse de Sgr A* : environ 4,5 millions de masses solaires. En janvier, avec Aurélien Hees, de l'observatoire de Paris, l'équipe américaine a surpris une classe d'objets étranges baptisés étoiles G (1). Des astres étonnants puisque leur forme varie en fonction de leur éloignement de Sgr A*. Ils sont très probablement issus de la fusion d'un couple d'étoiles. Une chose est sûre : ces nouvelles venues ont sûrement un message qu'il faut décrypter. Pour cela, Andrea Ghez, l'une des benjamines des Nobel, dispose d'un atout : encore des années d'observation devant elle. ■ **Azar Khalatbari**

(1) sciav.fr/885objetsetranges

MÉDECINE

La découverte du virus de l'hépatite C

L'identification de ce pathogène a permis de caractériser une nouvelle forme d'hépatite, ce qui a conduit à un traitement.



SCIENCE PHOTO LIBRARY

Le VHC (image de synthèse) infecterait environ 750 000 personnes en France.

AFP

Les lauréats
(de gauche à droite)
Charles Rice (États-Unis), université Rockefeller, New York.
Harvey Alter (États-Unis), NIH, Bethesda.
Michael Houghton (Royaume-Uni) université de l'Alberta, Canada.

« *Hépatite non A non B* » C'est sous ce terme que l'un des lauréats, Harvey Alter, qualifiait en 1978 dans un article de la revue *The Lancet*, la pathologie inconnue qu'il venait de mettre au jour avec ses collaborateurs. À cette époque, beaucoup de chercheurs pensaient pourtant en avoir fini avec l'identification des maladies touchant le foie humain. Et ce, même si les hépatites A et B, découvertes quelques décennies plus tôt, ne suffisaient pas à clore totalement le débat épidémiologique.

En effet, il demeurait beaucoup de cas non élucidés, principalement parmi les personnes recevant une transfusion sanguine et développant ensuite une hépatite chronique. Mais, après que Harvey Alter et son équipe ont démontré que celle-ci était probablement due à un nouveau virus hépatique, il a fallu près de dix ans avant que l'agent de l'hépatite « non A non B » prenne un vrai visage et reçoive la dénomination de « virus de l'hépatite C ». Et ce, grâce au savoir-faire de Michael Houghton. *« Il est parvenu à séquencer le virus*, dit Marc Jamin, de l'Institut de biologie structurale (IBS) de Grenoble. *Et, à cette époque, c'était loin d'être facile. D'autant plus que ce virus est très difficile à cultiver et ne se réplique pas bien.* » Maintenant que les scientifiques avaient, dans une main, une nouvelle maladie, et, dans l'autre, un nouveau virus, il leur fallait désormais les réunir, prouver de manière irréfutable que les deux étaient liés et que l'un était la cause de l'autre. Ce sera chose faite avec les travaux de Charles Rice qui démontreront qu'injecter l'ARN viral à des chimpanzés provoque la maladie.

Actuellement, le virus circule toujours. *« 750 000 personnes seraient atteintes en France*, dit Damien Grégoire, de l'Institut de génétique moléculaire de Montpellier. *La plupart sont d'anciens toxicomanes qui ignorent qu'ils sont atteints.* » Il existe un traitement très efficace qui éradique le virus en quatre semaines. Seulement, faute d'être dépisté, difficile de se soigner. Et, sur le long terme, cela peut se révéler dramatique : *« Au bout d'une vingtaine d'années*, dit Damien Grégoire, *le VHC peut déclencher un cancer du foie, très souvent fatal.* » ■ **Hervé Ratel**

Rencontre avec un maître brasseur belge

Depuis 2016, la bière belge est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO. Par cet acte, elle est passée du statut de boisson à celui d'institution culturelle.

Avec plus de 1 600 variétés reconnues au niveau mondial et pas moins de 300 brasseries, ce qui a été longtemps perçu comme une simple attraction touristique est désormais un véritable étendard du savoir-faire belge. À tel point que les Maîtres Brasseurs belges sont aujourd'hui des garants de leur culture à l'international et sillonnent le monde pour former, éduquer et partager leur expérience. Dans cette optique, nous avons rencontré Hans Van Remoortere, le maître brasseur de la bière belge Tripel Karmeliet, pour en savoir plus sur la bière et répondre aux questions que l'on se pose tous.

On va commencer par le plus pratique. Comment déguste-t-on une bière ?
On commence par regarder : sa mousse, sa couleur, sa pétillance. Ensuite, on la sent pour déterminer les premières notes – n'hésitez pas à la remuer pour l'aérer. Enfin, on goûte pour confirmer ce que l'on a perçu auparavant : la texture, les flaveurs (...).

Quelle est l'importance d'un verre lorsque l'on déguste une bière ?
On ne servirait pas de champagne dans un verre à eau. Pour la bière, c'est la même chose. Le choix du verre est primordial. La forme d'un verre Tulipe (comme celui de la Tripel Karmeliet) permet de retenir la mousse et ses arômes. Son pied, quant à lui, vous permet de tenir le verre en main sans réchauffer la bière.

Comment sait-on quand une bière est prête ?
Une bière passe par 4 à 5 stades. Je goûte le produit à chacune de ces étapes tous les jours à 11 h – les papilles sont plus alertes. Si à une phase on observe une déviance de qualité, nous pouvons encore ajuster le liquide afin de garantir un produit qualitatif à tous les consommateurs.

Pouvez-vous nous en dire plus sur l'histoire de votre bière, la Tripel Karmeliet ?
C'est une histoire de famille. La brasserie a été créée en 1791 par Jean-Baptiste Bosteels, avant même la création du royaume de Belgique (1830). Depuis, 7 générations de brasseurs se sont succédé jusqu'à ce qu'Antoine Bosteels, à la fin du 20e siècle, découvre une recette oubliée de 1679 qui deviendra l'inspiration de la Tripel Karmeliet actuelle.

C'est l'une des rares bières brassées à base de 3 grains. Vous nous en dites plus ?
Notre engagement est de créer une bière parfaitement équilibrée. On dit qu'une bière est équilibrée lorsque "l'onctuosité", "l'acidité" et "le caractère" sont parfaitement balancés. La Tripel Karmeliet trouve cet équilibre, notamment grâce à l'association de 3 grains :
L'Orge qui apporte le corps à la bière.
Le Froment pour l'onctuosité et la fraîcheur.
L'Avoine pour le caractère.
Sans ces 3 grains, la Tripel Karmeliet n'existerait pas.

Si vous deviez qualifier la Tripel Karmeliet ?
La Tripel Karmeliet n'est pas une bière brassée en 3 semaines, nous prenons le temps de faire les choses. Le brassin passe plusieurs semaines en cuve, laissant aux saveurs le temps de se développer naturellement et la production finit par une refermentation en bouteille. On a donc un cycle de brassage de 6 à 7 semaines, ce qui est nettement plus long que la majorité des bières présentes sur le marché, reflétant notre savoir-faire traditionnel et notre authenticité.

Nous remercions Hans d'avoir pris le temps de répondre à nos questions. Un échange chaleureux avec un passionné pour nous permettre d'en apprendre plus sur l'univers de la bière.

Hans goûte la production Triple Karmeliet tous les jours à 11 h car *« c'est à ce moment-là que les papilles sont le plus alertes »*.

Photos : © Olivier Anbergen - septembre 2019

Tripel Karmeliet

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

Un réseau de lacs au pôle sud de Mars

Une étude italienne confirme la présence d'étendues d'eau salée souterraines détectées par le radar MARSIS de la sonde européenne Mars Express.

Le cratère Korolev, observé en 2018 par la sonde Mars Express (en bas à droite), s'est révélé abriter de l'eau liquide sous sa calotte glaciaire.

ESA/DLR/FUBERLIN

PLANÉTOLOGIE D'importantes quantités d'eau liquide seraient enfouies sous la calotte polaire du pôle sud de la planète Mars, dans la région d'Ultima Scopuli. Un premier lac subglaciaire de 20 kilomètres de large y avait été détecté en 2018 par le radar MARSIS embarqué par la sonde Mars Express de l'Agence spatiale européenne. L'instrument utilise les basses fréquences pour sonder le sous-sol profond de la planète Rouge. Aujourd'hui, une nouvelle analyse des données réalisée par l'équipe de l'université de Rome-III à l'origine de la découverte de 2018 confirme bien la présence d'une masse d'eau principale s'étendant sur une surface de 20 km par 30.

Elle révèle en outre l'existence de plusieurs autres petites parcelles d'eau, séparées de l'étendue principale par des bandes de matière sèche. En dépit de rudes températures, qui descendent sous -150 °C, cette eau demeure liquide parce qu'elle forme une sorte de saumure dans laquelle le sel est dissous à de fortes concentrations. Si de telles conditions peuvent paraître défavorables à la vie, on sait que, sur Terre, certains organismes spécialisés se développent dans des conditions salines extrêmes. **J. I.**

EN DEUX MOTS

DÉBRIS SPATIAUX. Pour la troisième fois en 2020, la Station spatiale internationale a dû modifier son orbite pour prévenir une collision, ici un débris de fusée japonaise. **SPACEX.** La société d'Elon Musk fournira à la défense américaine, pour 149 millions de dollars, des satellites de détection de missiles. **AURORES.** Pour la première fois, des aurores boréales ont été attestées sur un objet céleste autre qu'une planète ou une lune, en l'occurrence la comète Tchouri, d'après des données recueillies par la sonde Rosetta.

NASA/CALTECH-JPL/UNIV. OF ARIZONA/LPG-UNIV. OF NANTES-CNRS

Les images dans l'infrarouge de la lune de Saturne ont montré de la glace d'eau (en rouge, à droite).

Dernières vues d'Encelade

ASTRONOMIE L'héritage laissé par la sonde Cassini, qui a exploré Saturne et quelques-unes de ses nombreuses lunes entre 2004 et 2017, continue d'être analysé. Ainsi, ces nouvelles images prises dans l'infrarouge qui révèlent de nouveaux détails de surface d'Encelade, une lune d'à peine 500 km de diamètre. On y perçoit notamment de la glace d'eau nouvellement formée. **J. I.**

SOURCE : R. ROBIDEL, UNIVERSITÉ DE NANTES.

Les ultraviolets contre les virus

TRANSPORTS L'équipementier automobile français Valeo a réadapté une technique de stérilisation du milieu médical pour concevoir un boîtier à encastrer dans le plafond des bus pour filtrer l'air. Il renferme une lampe à ultraviolets qui détruit virus (y compris le Sras-CoV-2) et bactéries. Le constructeur de bus brésilien Marcopolo est le premier à intégrer ce dispositif. **A. D.**

ESA

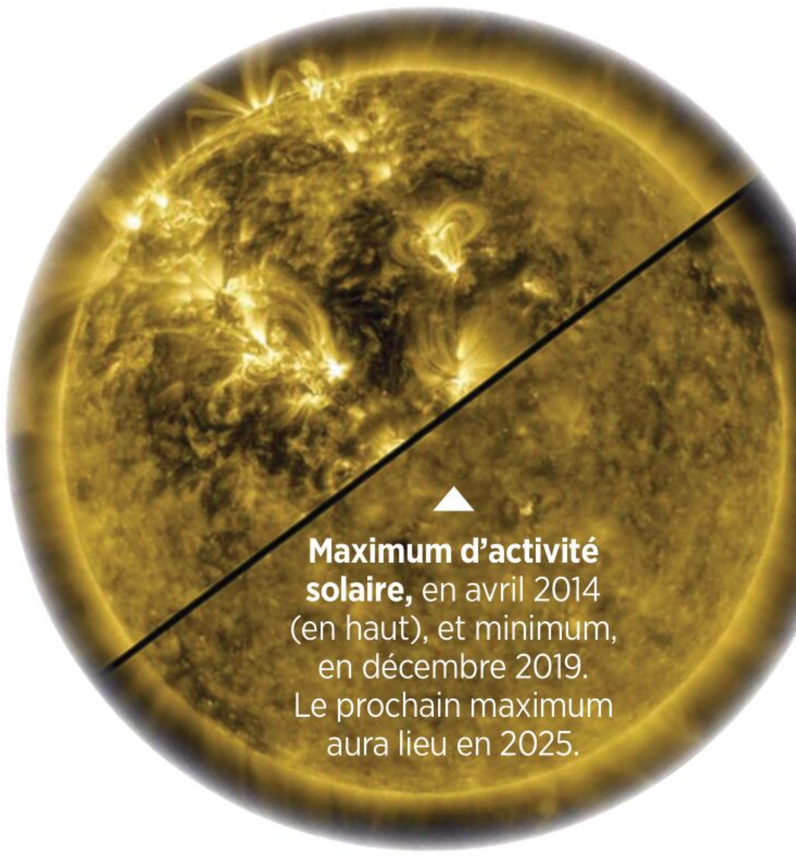
La mission Hera rejoindra l'astéroïde Didymos en 2026.

L'Europe investit dans la défense planétaire

ESPACE L'Agence spatiale européenne vient de signer un contrat de 130 millions d'euros pour lancer la mission Hera. Elle complétera la mission américaine Dart qui sera lancée en juillet 2021 vers l'astéroïde double Didymos afin de le percuter (en 2022) et de modifier sa trajectoire. Quatre ans plus tard, Hera rejoindra la petite lune pour mesurer les effets de l'impact. **S. R.**

Le cycle solaire 25 a commencé

ASTRONOMIE Le Soleil est entré officiellement dans un nouveau cycle d'activité, 25e du nom selon un décompte amorcé au milieu du XVIIIe siècle. Ces cycles, d'une durée de onze ans en moyenne, débutent par une période où l'activité magnétique et le nombre de « taches » à la surface de l'astre sont les plus faibles. Puis ils augmentent jusqu'à atteindre un pic, attendu pour le prochain à l'été 2025. **F. D.**



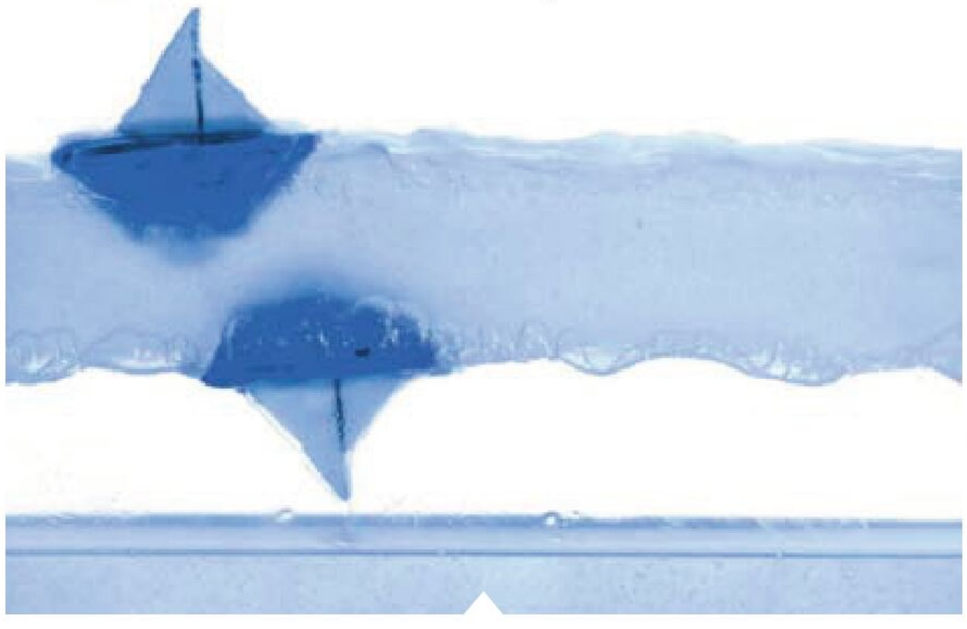
NASA/SDO

Maximum d'activité solaire, en avril 2014 (en haut), et minimum, en décembre 2019. Le prochain maximum aura lieu en 2025.

Un bateau qui flotte à l'envers

En faisant vibrer un liquide, des chercheurs français sont parvenus à le mettre en lévitation et à faire flotter un navire miniature par en dessous.

PHYSIQUE Le petit bateau flotte au-dessous d'un liquide et tangue tranquillement, mât en bas, au gré des vaguelettes... L'exploit — purement fondamental — a été réalisé à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI). Les chercheurs ont d'abord fait « léviter » un liquide visqueux (du glycérol) au-dessus d'une couche d'air en faisant vibrer le récipient dans l'axe vertical d'un millimètre à la cadence de 100 battements par seconde. Les vibrations exercent une force dynamique, empêchant le liquide de tomber sous la couche d'air, qui se comporte comme une sorte de ressort. Ces mêmes vibrations permettent de stabiliser de petits objets tel ce bateau miniature à l'interface de l'air et du liquide. **F. D.**



BENJAMIN APFFEL ET AL.

Les vibrations du récipient exercent une force qui empêche le liquide de retomber et stabilisent le navire à l'envers.

172 °C La température d'une eau toujours liquide

PHYSIQUE Pour maintenir de l'eau à l'état liquide à une telle température, des scientifiques allemands ont utilisé un laser à rayons X émettant des flashs ultrarapides. L'eau est ainsi brutalement surchauffée et n'a pas le temps de refroidir avant que, 886 secondes plus tard, elle ne subisse une nouvelle impulsion. **A.-S. T.**

SOURCE : FELIX LEHMKÜHLER, DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON, HAMBOURG, ALLEMAGWNE.

Vous avez moins de 30 ans, vous êtes titulaire d'un Bac+2 ?
Devenez apprenti·e ingénieur·e et suivez une formation gratuite et rémunérée en signant un contrat d'apprentissage de trois ans.

EICnam, l'école d'ingénieur·e·s du Cnam

Bâtiment et travaux publics | Économie circulaire | Énergétique | Gestion des risques | Informatique

cnam-grandest.fr

BLOG

Cette vitre est un panneau solaire

MATÉRIAUX 3,6 % : le rendement des panneaux photovoltaïques élaborés par l'entreprise américaine UbiQD paraît faible en comparaison des 15 à 20 % des panneaux traditionnels. Mais en contrepartie ils sont transparents et peuvent donc remplacer une vitre ! Ils ont été obtenus en plaçant entre deux verres des quantum dots, des nanoparticules qui libèrent des charges électriques sous l'effet des UV. **F. R.**

UBIQD

Sous l'effet des UV, les nanoparticules de la vitre libèrent des charges électriques.

Du gaz comprimé pour amplifier un signal lumineux

Une fibre optique creuse a été remplie de gaz sous pression, ce qui a permis de multiplier par six l'amplification du signal.

NUMÉRIQUE Des chercheurs suisses ont trouvé une parade à la principale faiblesse des fibres optiques où circule le signal lumineux qui achemine Internet : il faut installer des amplificateurs à intervalles réguliers pour que le signal ne s'affaiblisse à mesure qu'il progresse. La technique mise au point à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse) consiste à faire circuler le laser dans une fibre creuse plutôt qu'à travers un cœur en silice. Les frictions avec la matière sont ainsi éliminées, ce qui limite l'atténuation du signal. Cependant celle-ci ne disparaît pas et une réamplification reste nécessaire. Mais là aussi, les chercheurs ont trouvé une astuce : en comprimant des molécules de gaz dans la fibre entre deux faisceaux de lumière de fréquence légèrement différente, ils créent un effet de résonance qui multiplie le signal par un facteur... 100 000 ! **A. D.**

ALAIN HERZOG/2020 EPFL

L'absence de cœur en silice dans la fibre élimine les frictions et améliore le signal.

AIRBUS

L'aile volante propulsée à l'hydrogène imaginée par Airbus pourrait entrer en service vers 2035.

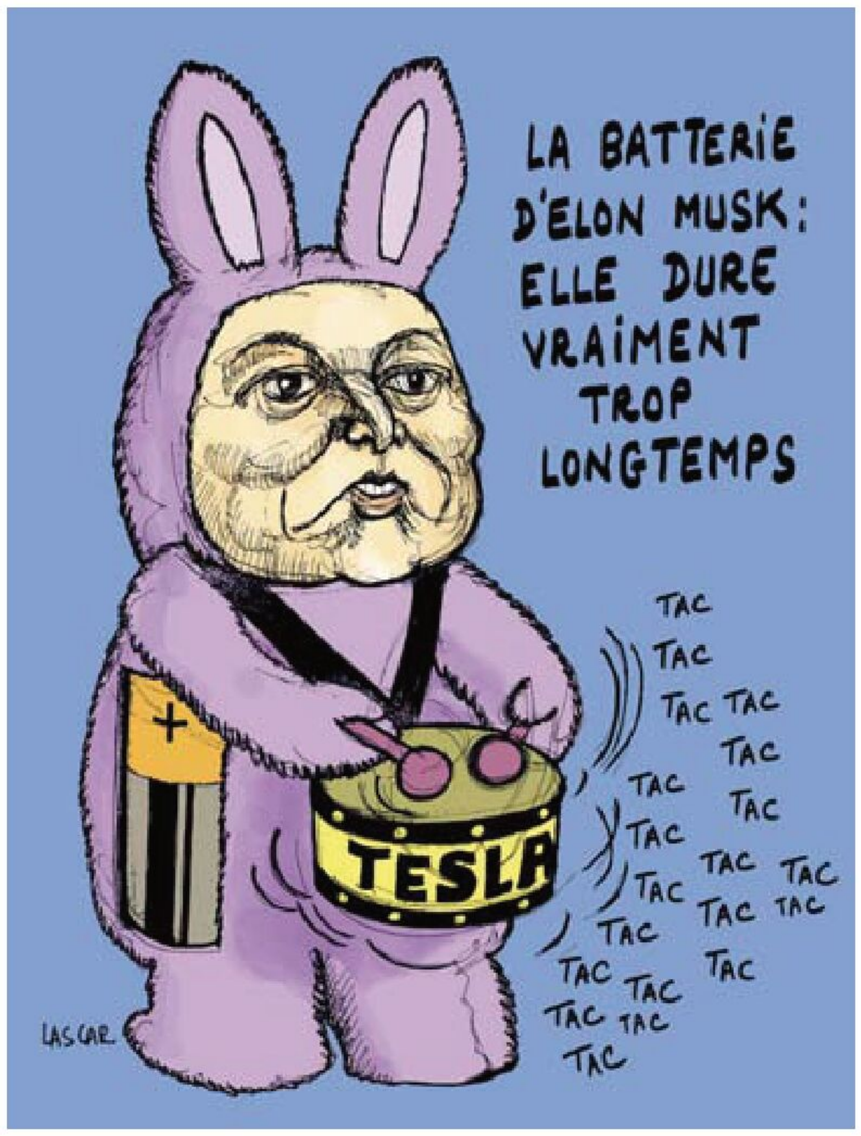
Airbus se convertit à l'hydrogène

AÉRONAUTIQUE L'avionneur européen Airbus se lance dans l'aviation décarbonée avec trois concepts d'appareils : un avion régional, un moyen-courrier et une aile volante futuriste *(ci-dessus)*. Tous sont propulsés par l'hydrogène et émettront donc de l'eau plutôt que du CO_2. Entrée en service annoncée à l'horizon 2035. **S. R.**

800 km La distance à laquelle a été piloté un navire français

NAUTIQUE Le premier permis français de navigation pour un bateau télé-opéré a été remis au *VN Rebel*. Ce navire de 80 m basé à Toulon est un prototype piloté depuis l'École polytechnique de Palaiseau (Essonne). Développée depuis quatre ans par l'entreprise française SeaOwl, cette technologie pourrait être déployée dans des zones dangereuses, ou pour respecter un confinement. **S. R.**

L'œil de Lascar



BATTERY DAY. Lors de l'assemblée générale de Tesla, Elon Musk a annoncé une série d'optimisations pour améliorer les capacités des batteries de ses voitures électriques et a annoncé un modèle à 25 000 dollars dans trois ans — la gamme commence aujourd'hui aux États-Unis à 37 990 dollars. **O. L.**

SILENT URBAN VEHICLE

CITROËN

CITROËN C5 AIRCROSS HYBRID
HYBRIDE RECHARGEABLE

LE SUV EN CLASSE Ë-CONFORT

CITROËN ADVANCED COMFORT

20 aides à la conduite*
Recharge accélérée en 2 heures
55 km d'autonomie en mode 100 % électrique
Suspensions avec Butées Hydrauliques Progressives®
Puissance cumulée thermique et électrique de 225 ch

À partir de
299 €/MOIS(1)

Après un 1er loyer de 8 750 €
ramené à 4 250 € après déduction
du bonus écologique de 2 000 €
et de la prime à la conversion de 2 500 €
LLD 48 mois/40 000 km
Sous condition de reprise
4 ans : entretien, garantie

silent urban vehicle = *le véhicule urbain silencieux.*

Citroën préfère Total **Modèle présenté : SUV Citroën C5 Aircross Hybrid 225 ë-EAT8 Shine pack avec options toit bi-ton noir perla nera, jantes alliage 19'' ART black, teinte blanc nacré et pack look blue anodisé (379 €/mois après un 1er loyer de 8750 € ramené à 4250 € après déduction du bonus écologique de 2000 € et de la prime à la conversion gouvernementale de 2 500 €, selon les conditions de l'offre détaillée ci-après).** (1) Exemple pour la location longue durée 48 mois et 40 000 km d'un SUV C5 Aircross Hybrid 225 ë-EAT8 Feel neuf, hors option, soit un 1er loyer de 8750 € ramené à 4250 € après déduction du bonus écologique de 2000 € et de 2500 € de prime à la conversion gouvernementale pour la reprise de votre véhicule diesel immatriculé avant le 01/01/11 ou essence immatriculé avant le 01/01/06, destiné à la destruction (conditions sur www.service-public.fr), suivis de 47 loyers mensuels de 299 € incluant l'assistance, l'extension de garantie et l'entretien au prix de 40 €/mois pour 48 mois et 40000 km (au 1er des deux termes échu). Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. offre non cumulable valable jusqu'au 30/11/20, réservée aux particuliers pour un usage privé, dans le réseau Citroën participant, et sous réserve d'acceptation par Credipar/PSA Finance France, locataire-gérant de CLV, SA au capital de 138 517 008 € RCS Versailles n° 317 425 981, Orias 07004921 (www.orias.fr), 2-10 boulevard de l'Europe 78300 Poissy. *Selon version ou motorisation.

INSPIRED BY YOU ALL

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO_2 DE SUV CITROËN C5 AIRCROSS : WLTP DE 1,4 À 7,4 L/100 KM ET DE 32 À 167 G/KM.

COVID-19 RESPECT REGLES SANITAIRES

AUTOMOBILES CITROËN : RCS PARIS 642 050 199

Pourquoi le bleu et le vert sont si vifs dans la nature

Des structures microscopiques expliqueraient l'intensité des tons froids.

CYRIL RUOSO / BIOSPHOTO

Le bleu turquoise des plumes du paon n'est pas dû à des pigments mais à la façon dont le collagéne — une protéine— des tissus est organisé.

MORPHOLOGIE Les ailes bleu clair du papillon morpho, le vert du cou d'un canard colvert ou les plumes turquoise de la queue d'un paon... Toutes ces couleurs font partie des tons les plus vifs dans la nature. Et elles ne sont pas dues à des pigments mais à des structures particulières à l'échelle nanométrique. Des chercheurs de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) ont essayé de concevoir de telles structures pour recréer cette fois des couleurs dans des tons chauds. Ils ont pour cela modélisé par ordinateur des structures microscopiques du collagène — une protéine structurale des tissus — retrouvées chez trois oiseaux auxquels elles confèrent une couleur bleue ou verte. Puis, ils les ont modifiées pour obtenir une autre couleur. Sans succès ! il semble impossible de créer un système organisationnel naturel capable de produire des rouges structurels de bonne qualité. Les auteurs expliquent que c'est probablement pour cette raison que dans la nature, les couleurs rouges, lorsqu'elles sont intenses, sont plutôt produites par des pigments. **C. L.**

IL A DIT

« Nous avons comme objectif de commencer à faire baisser les émissions de CO_2 avant 2030, et d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2060 »

Le président chinois Xi Jinping dans un discours devant l'Assemblée générale de l'ONU

Le renouvelable dépasse le nucléaire

ÉNERGIE En 2019, pour la première fois dans l'histoire, la production électrique mondiale d'énergies renouvelables a dépassé celle du nucléaire. L'éolien, le solaire, la biomasse, l'hydroélectricité ont représenté 10,39 % de l'électricité générée, contre 10,35 % pour le nucléaire selon le World Nuclear Industry Status Report. Entre 2019 et 2020, la part des énergies renouvelables a augmenté de 3 % quand celle du nucléaire a baissé de 2,5 % selon l'agence internationale de l'énergie. **L. C.**

JEAN-PHILIPPE DELOBELLE / BIOSPHOTO

Éoliennes dans la Crau (Bouches-du-Rhône). En France la capacité de l'éolien a crû de 9 % entre 2018 et 2019.

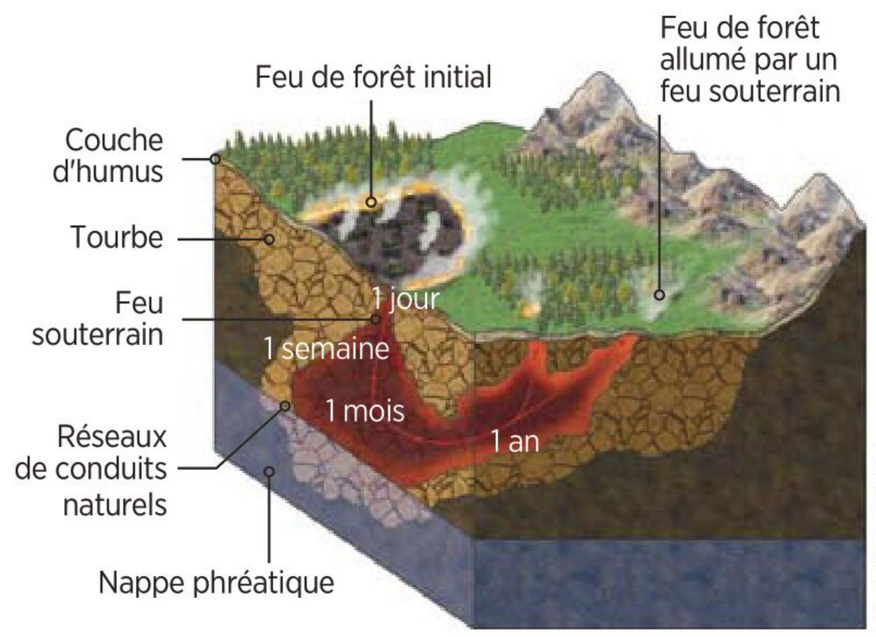
– 69,6 °C

Le nouveau record de froid dans l'hémisphère Nord

MÉTÉOROLOGIE

Le record vient d'être homologué par l'Organisation météorologique mondiale mais il avait été enregistré il y a 28 ans, le 22 décembre 1991, au Groenland, à une altitude de 3105 m. L'Institut météorologique danois justifie l'annonce tardive par le fait que le relevé ne provient pas d'une station de mesure du réseau météorologique habituel. M. N.

Les « feux zombies » menacent les forêts arctiques

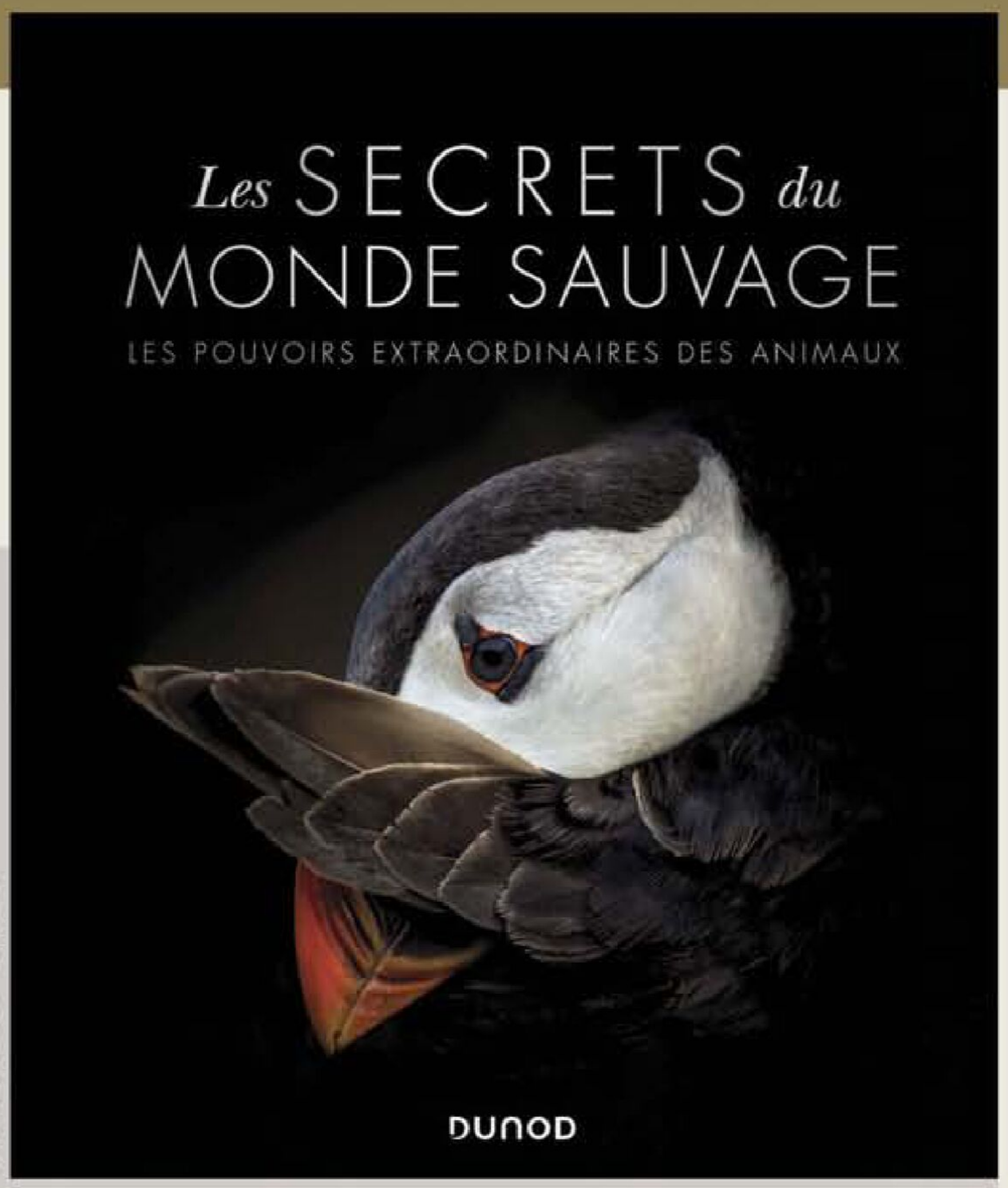


REIN AND BURNS, 2013

CLIMATOLOGIE Les incendies de forêt autour du cercle arctique ont démarré cette année avec deux mois d'avance et ont été d'une ampleur inédite. Des scientifiques américains invoquent en outre un nouveau régime d'incendie : des « feux zombies », vestiges de précédents incendies, qui couvent dans la tourbe riche en carbone et se réactivent dès la fonte des neiges. De plus, le dessèchement de la flore boréale la rend de plus en plus vulnérable aux feux. **S. R.**

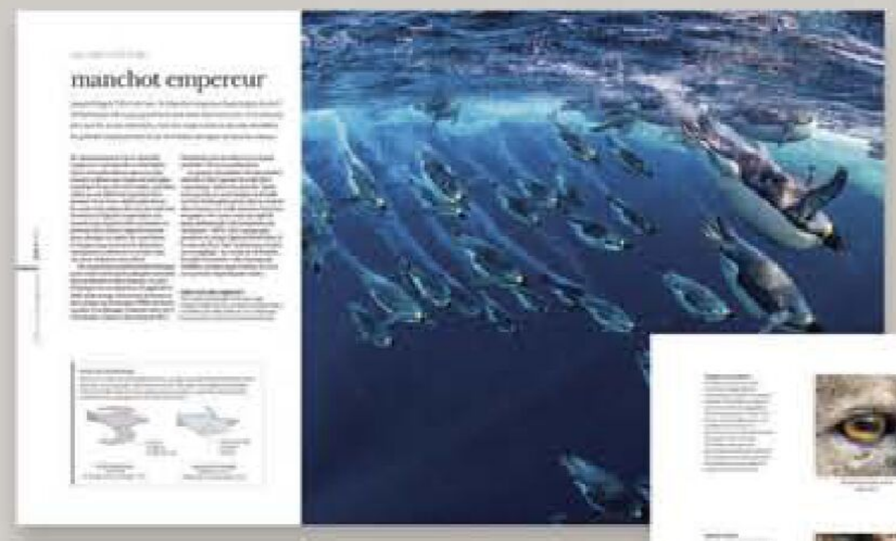
SOURCE : JESSICA MCCARTY, MIAMI UNIVERSITY, OXFORD, ÉTATS-UNIS.

Une **plongée magistrale** dans le monde animal

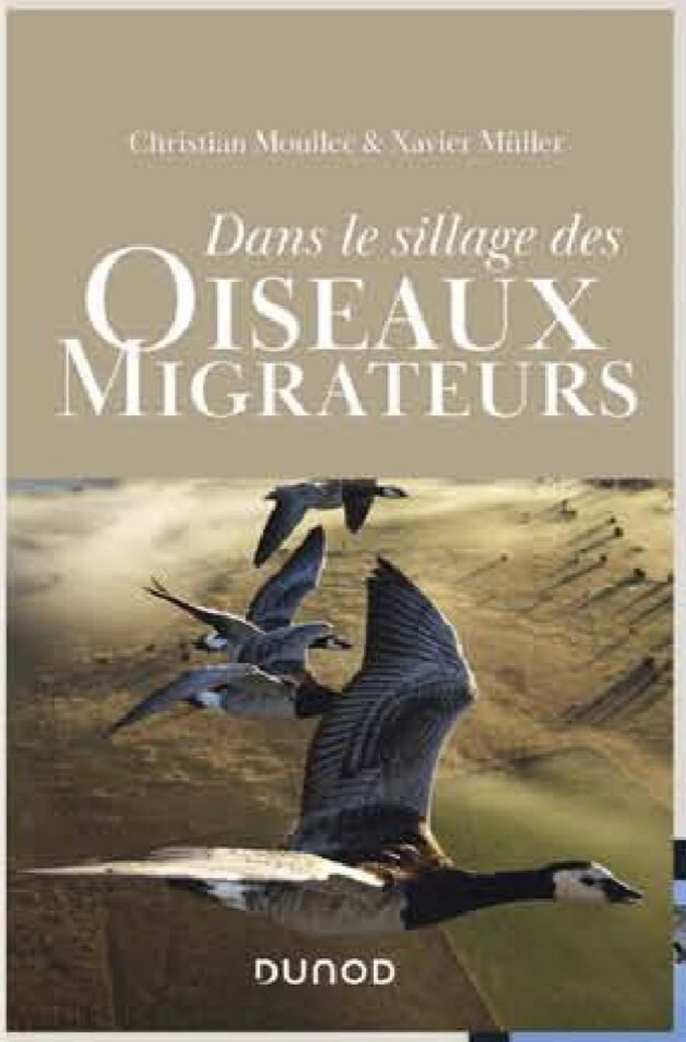


9782100810635 - 29,90 €

Des plus petits insectes aux majestueux éléphants, ce livre magnifiquement illustré vous invite à explorer le monde animal. **Grâce aux images époustouflantes et aux explications très simples,** vous découvrirez comment chaque espèce s'est adaptée à son environnement, du nez au bout de la queue.



Christian Moullec, l'homme qui vole en ULM avec les oiseaux migrateurs, et **Xavier Muller,** journaliste scientifique, mènent l'enquête et vous font découvrir les secrets de ces oiseaux voyageurs au long cours.

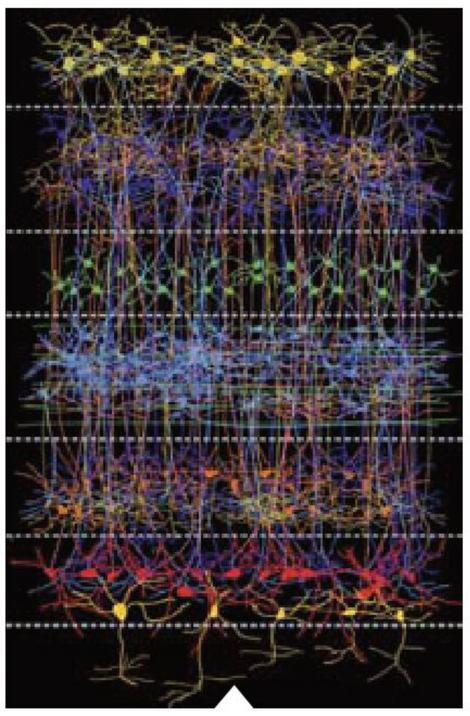


9782100811496 - 18,90 €

© Christian Moullec

DUNOD
une page d'avance

Les oiseaux ont un cerveau complexe



RUB-BIOPSYCHOLOGIE

Certains neurones du cerveau des oiseaux sont rangés en lignes et colonnes.

ORNITHOLOGIE Une étude révèle pour la première fois des similitudes étonnantes entre le néocortex des mammifères et les zones cérébrales sensorielles des oiseaux : les deux sont disposés en couches horizontales et colonnes verticales. Ces résultats réfutent des hypothèses vieilles de 150 ans selon lesquelles les oiseaux ne sont pourvus que d'un amas de cellules grises. **R. M.**

SOURCE : MARTIN STACHO, INSTITUT DE NEUROSCIENCES COGNITIVES, UNIVERSITÉ DE LA RUHR À BOCHUM, ALLEMAGNE.

Le secret qui fait du lycaon un marathonien

PATRICE CORREIA/BIOSPHOTO - BRENT ADRIAN, MIDWESTERN UNIVERSITY

Un vestige de pouce (flèche) subsiste sur la patte du canidé.

MORPHOLOGIE Le lycaon cache un détail anatomique qui lui permet de chasser en poursuivant ses proies jusqu'à l'épuisement : si ce canidé africain n'a que quatre orteils visibles sur les pattes avant, un pouce rudimentaire subsiste sous la peau. Sa présence a entraîné une réorganisation des muscles de la patte qui rend celle-ci plus résistante aux chocs et ainsi mieux adaptée aux longues courses. **H. R.**

SOURCE : HEATHER SMITH, UNIVERSITÉ MIDWESTERN, GLENDALE, ÉTATS-UNIS.

FRANS LANTING / MINT IMAGES/ BIOSPHOTO

Le rongeur se protègerait du bruit de ses congénères.

Le rat-taupe nu n'entend presque rien

ÉVOLUTION Si le rat-taupe nu est quasi sourd, c'est pour s'épargner le bruit que font en permanence ses congénères dans les galeries souterraines, affirment des chercheurs néerlandais. Au cours de son évolution, l'animal s'est vu privé du mécanisme d'amplification cochléaire présent chez tous les mammifères. Ce qui a rendu son ouïe certes moins performante mais protégée. **H. R.**

SOURCE : SONJA PYOTT, UNIVERSITÉ DE GRONINGUE,PAYS-BAS.

Le chat sauvage est menacé par son cousin domestique

BIODIVERSITÉ Les chats sauvages d'Europe (*Felis silvestris*) pourraient disparaître d'ici à deux ou trois siècles. C'est ce que laisse à penser une étude conduite dans le Jura suisse. Ils y croisent la route des chats domestiques (*Felis catus*) avec lesquels ils s'hybrident et leur progéniture est fertile. Le risque est que les gènes de l'espèce la plus abondante s'imposent. **A.-S. T.**

SOURCE : CLAUDIO S. QUILODRÁN, UNIVERSITÉ D'OXFORD (ROYAUME-UNI).

CLAUDIO QUILODRAN / UNIGE

« Felis silvestris » est génétiquement proche du chat domestique, « Felis catus ».

Une baleine a battu le record d'apnée

Le métabolisme des baleines de Cuvier les rend capables d'effectuer une plongée de plusieurs heures.

CÉTOLOGIE 3 h 42 : c'est le temps passé sous l'eau par une baleine de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) sans reprendre son souffle. L'animal bat ainsi le record de la plus longue plongée en apnée connue, détenu jusque-là par l'une de ses congénères. Les chercheurs du Laboratoire marin de l'université Duke (Caroline du Nord, États-Unis) ont mesuré cet exploit grâce à une balise fixée sur l'animal. Mais ils ne s'expliquent pas ce qui a conduit le cétacé à demeurer aussi longtemps sans respirer : avait-il découvert une abondante source de nourriture ? Fuyait-il la surface pour une cause quelconque ?

Il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'une nouvelle preuve de l'exceptionnel métabolisme des baleines de Cuvier. Elles possèdent vraisemblablement d'importantes réserves d'oxygène et sont capables de résister à l'acide lactique qui s'accumule dans les muscles au cours des plongées prolongées. **A.-S. T.**

SHUTTERSTOCK

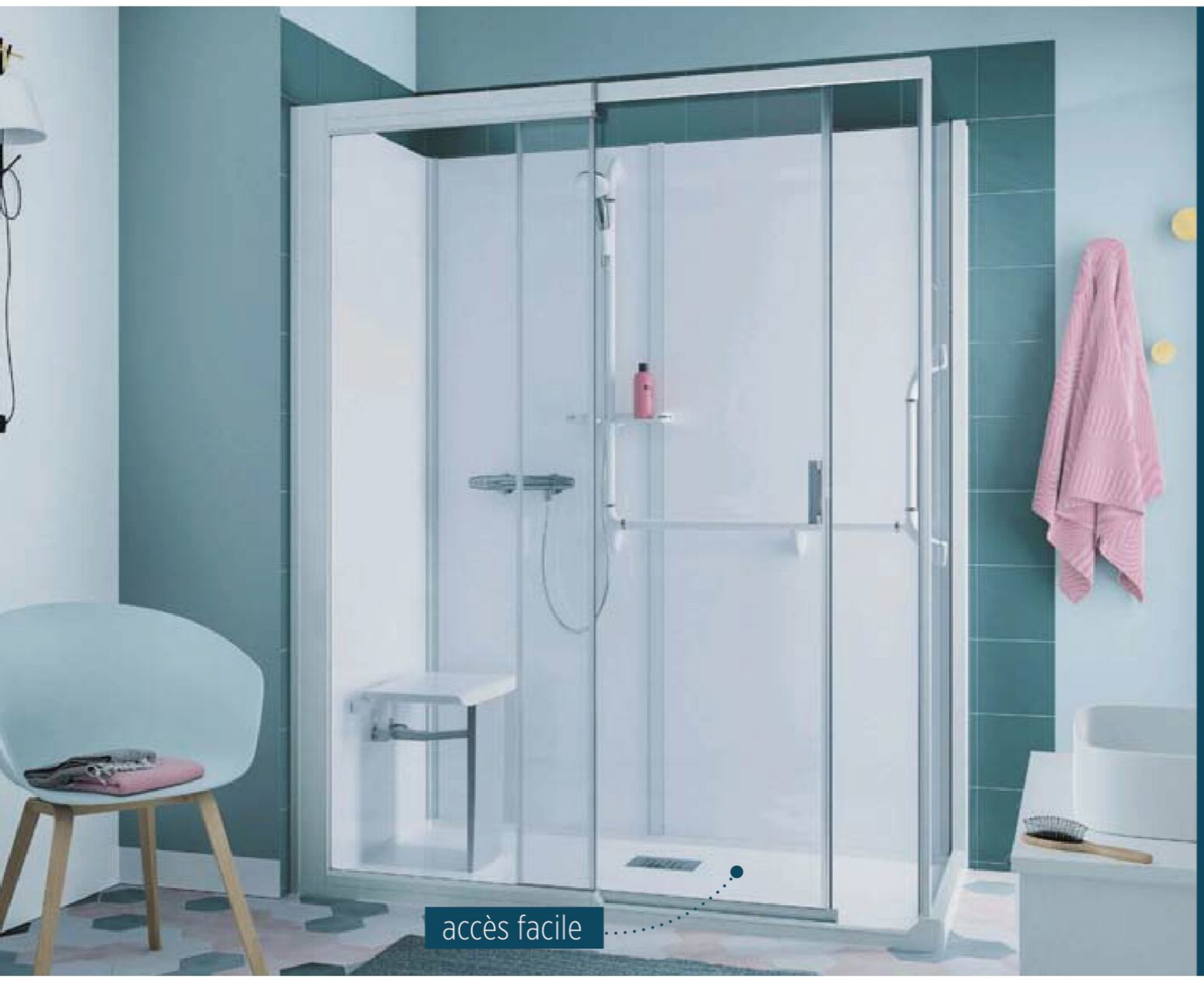
Les performances du cétacé s'expliqueraient par ses réserves d'oxygène et sa résistance à l'acide lactique.

Votre salle de bains
peut être dangereuse...

Kinemagic
UN PRODUIT KINEDO

remplace votre baignoire par une douche à l'italienne

en 48H **pour 0€*** **avec l'aide de ActionLogement**
*sous réserve d'éligibilité et selon modèle



Évitez les chutes avec
une douche
facile d'accès,
design et luxueuse.
Un produit français

Kinedo

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinemagic.fr

par courrier
en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit
Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

PROFITEZ DU PLAN NATIONAL « salle de bains » JUSQU'À 5000€ D'AIDE
❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....
Adresse : .....
.....
CP : ..... Ville : .....
Téléphone : .....
Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Sciences & Avenir

Une IRM sur roulettes

QUOI Un appareil d'imagerie par résonance magnétique (IRM) doté de roulettes pour être transporté jusqu'au patient.

COMMENT Avec un aimant de faible champ magnétique (0,064 tesla au lieu de 1,5 ou 3 teslas à l'hôpital) qui permet de se passer de refroidissement et d'être alimenté avec une simple prise de 110 volts.

QUI Des chercheurs de l'École de médecine Yale (États-Unis) en collaboration avec la société Hyperfine.

POUR QUOI Détecter, cancers, tumeurs bénignes, malformations, AVC, dans des contextes humanitaires et situations d'urgence. **S. R.-M.**

HYPERFINE

Le dispositif mobile pourra être utilisé en situation d'urgence.

GARO/PHANIE

Le logo présent sur les emballages classe les aliments en fonction de leurs qualités nutritionnelles, du meilleur (A) au moins bon (E).

Les aliments au nutri-score mauvais sont associés à une mortalité accrue

Une étude européenne pourrait inciter les autorités sanitaires à élargir ce dispositif qui ne figure que sur 15 à 20 % des produits.

NUTRITION Le code couleur mis en place en 2017 résumant les qualités nutritionnelles d'un aliment a fait l'objet d'une évaluation dans 10 pays européens pilotée depuis la France, notamment par l'université Sorbonne Paris Nord. Les personnes qui consomment en moyenne plus d'aliments mal notés par le nutri-score ont un risque accru de 7 % de mourir de causes non accidentelles telles qu'un cancer (+ 8 %), une maladie cardio-vasculaire (+ 4 %), digestive (+22 %) ou respiratoire (+ 39 %). « *Ces chiffres ne sont que des estimations statistiques*, tempère Mélanie Deschasaux, chercheuse en épidémiologie nutritionnelle et coauteure de l'étude, *il faut notamment les rapporter au nombre de cas.* » En particulier, sur les 53 112 participants décédés, seulement 3 % ont péri à cause de maladies du système digestif, et 5,4 % de maladies respiratoires, ce qui rend l'estimation moins robuste. Reste que l'étude va dans le sens d'un usage plus large de ce dispositif qui ne figure aujourd'hui que sur 15 à 20 % des produits. **T. A.**

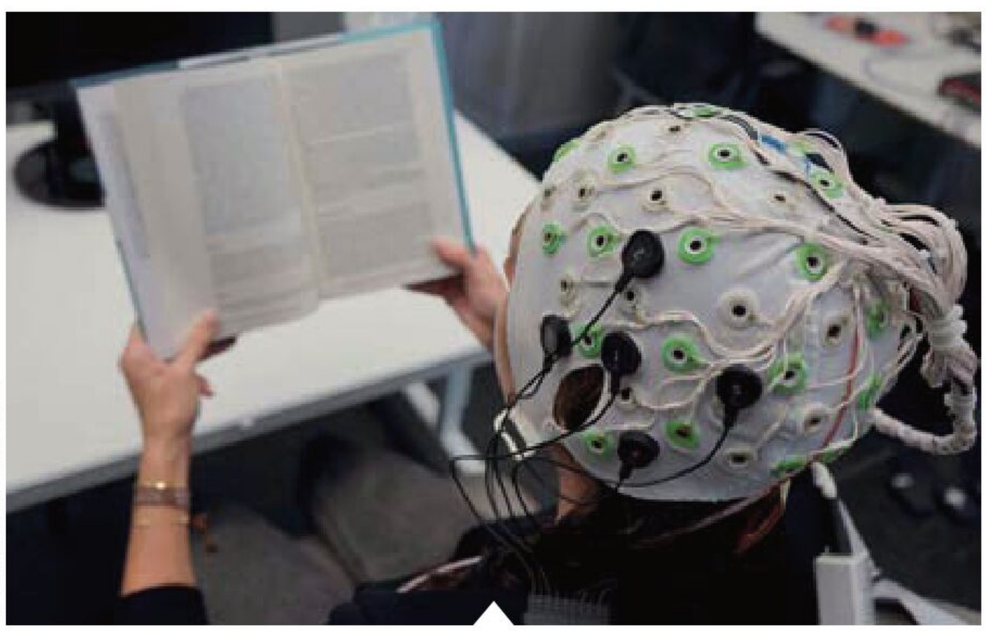
EN DEUX MOTS

TABAC. Une étude menée par des médecins finlandais sur plus de 13 000 paires de jumeaux atteste que les fumeurs sont davantage sujets aux hémorragies cérébrales. **PROSTATE.** La première étude génétique des cancers de la prostate a montré que l'olaparib contre les tumeurs BRCA1 ou 2 prolonge la vie du patient d'environ 5 mois. **CYBERATTAQUE.** Pour la première fois, une patiente est morte après la cyberattaque d'une structure de soins, l'hôpital universitaire de Düsseldorf (Allemagne), faute d'avoir pu être opérée en urgence.

La stimulation cérébrale aide les dyslexiques à lire

NEUROPSYCHOLOGIE La dyslexie pourrait être corrigée par une stimulation électrique non invasive du cerveau. Réalisée au niveau du cortex auditif gauche pendant 20 minutes, cette stimulation a permis l'amélioration immédiate du traitement phonologique et de la précision de lecture chez 15 patients. Reste qu'il faudrait des stimulations répétées pour un effet durable. **E. S.**

SOURCE : S. MARCHESOTTI, UNIVERSITÉ DE GENÈVE, SUISSE.



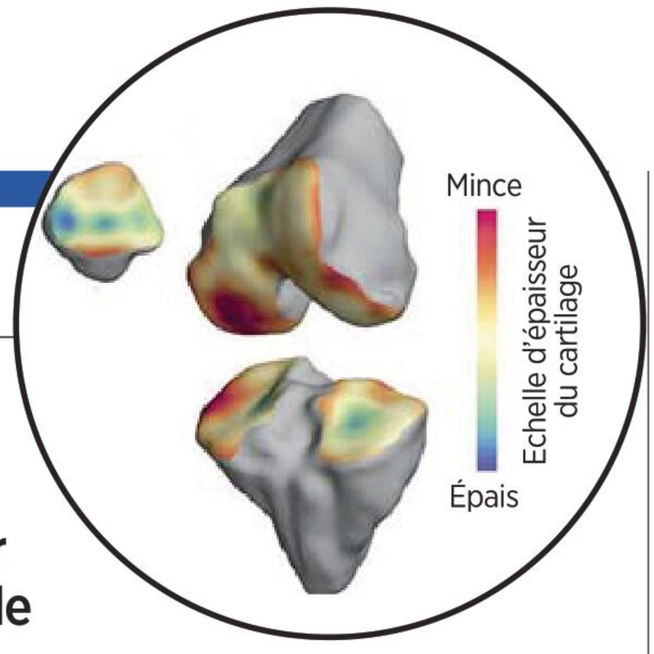
SILVIA MARCHESOTTI/UNIGE

La capacité de lecture a été améliorée au bout de 20 min de stimulation.

Les ultrasons peuvent détecter l'épilepsie

NEUROLOGIE L'élastographie, une technique non invasive délivrant des ultrasons, permet de dépister l'épilepsie. C'est ce que révèle une étude américaine qui démontre que l'hippocampe de patients aux premiers stades de la maladie est plus rigide que celui d'un groupe contrôle, ce qui constitue un biomarqueur d'imagerie. **S. R.-M.**

SOURCE : G. R. HUESMANN, CARLE NEUROSCIENCE INSTITUTE, URBANA, ÉTATS-UNIS.



L'IA analyse les changements de texture du cartilage sur une IRM, annonciateurs d'arthrose.

JAMES MACKAY

L'arthrose prédite par l'intelligence artificielle

RHUMATOLOGIE Détecter des signes précoces d'arthrose avant que les premiers symptômes se déclarent ou que le radiologue les repère : c'est ce qu'est parvenu à faire un algorithme d'intelligence artificielle entraîné sur des milliers de clichés IRM. Cette approche prédictive serait précieuse pour favoriser des traitements préventifs et réduire le recours aux prothèses. **H. J.**

SOURCE : SHINJINI KUNDU, UNIVERSITÉ CARNEGIE MELLON, PITTSBURGH, ÉTATS-UNIS.

RICHARD J. JOHNSON

QUESTIONS À

Richard Johnson

Professeur à l'école de médecine de l'université du Colorado (États-Unis)

« La piste du fructose pour Alzheimer »

Dans un article publié par la revue *Frontiers in Aging Neuroscience*, Richard Johnson émet l'idée que le fructose serait l'une des causes principales d'Alzheimer.

Comment est née cette hypothèse ?
J'étudie le fructose depuis plus de vingt ans et il m'est venu l'idée, en examinant l'ensemble de la littérature scientifique à son sujet, que ce sucre pourrait être très dommageable pour le cerveau. Ainsi, les niveaux de fructose sont plus élevés dans le cerveau des patients atteints de la maladie d'Alzheimer que dans la population générale.

En quoi trop fructose est-il délétère pour le cerveau ?
Un régime trop riche en fructose — que l'on trouve dans les fruits, le miel, mais aussi surtout le sirop de sucre (glucose, fructose), les boissons sucrées et les sodas — peut avoir des effets cognitifs, bien que seule une toute petite quantité atteigne le cerveau. Une hypothèse, fondée sur plusieurs études, serait que le métabolisme du fructose dans le foie libère de l'acide urique. Celui-ci traverse le cerveau et y induit une inflammation « à bas bruit ». En outre, l'hyperactivation de cette voie métabolique entraînerait une baisse de celle du glucose, avec des effets délétères pour les neurones.

Comment confirmer cette hypothèse ?
Des médicaments qui bloquent la voie du fructose sont en développement par plusieurs grandes sociétés pharmaceutiques : il faudrait mener des essais avec eux. En attendant les résultats, mieux vaut éviter les aliments riches en fructose.

Propos recueillis par E. S.

www.lesproduitsdumois.com

BOOSTEZ VOTRE IMMUNITÉ AVEC MAXI-FLORE®

Le microbiote intestinal forme un écosystème indispensable et majeur pour protéger l'organisme contre les agents pathogènes. Préserver son équilibre est donc essentiel pour maintenir de bonnes défenses immunitaires. **Maxi-Flore®** est un complexe de probiotiques de nouvelle génération contenant **4 ferments lactiques associés à la vitamine D pour contribuer au fonctionnement normal du système immunitaire.**
Prendre un sachet **Maxi-Flore®** par jour aide à renforcer les défenses naturelles de l'organisme et participe à l'équilibre du microbiote. Pratique, il se dissout instantanément en bouche, au goût très agréable. Sa technologie gastro-résistante permet d'augmenter la résistance des souches probiotiques à l'acidité gastrique.
Utilisations : Pour renforcer les défenses naturelles : 1 sachet par jour 10 jours/mois.
En cure d'entretien : 1 sachet par jour pendant 20 à 30 jours.

■ SYNERGIA - Découvrez nos offres immunité sur www.synergiashop.com ou au 04 77 42 30 10. En pharmacie, boîte 20 sachets, ACL 2154581, env. 15€

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

AVEZ-VOUS DÉJÀ EU LA SENSATION DE NE PLUS AVOIR LES IDÉES CLAIRES, D'AVOIR LE CERVEAU EMBRUMÉ ?

Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments essentiels aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau. Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour **améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives** (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques.
Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.
Cerveau Clair tonifie et revitalise votre cerveau pour vous aider à garder les idées claires !

■ Boite de 60 cp. En pharmacie - ACL 2951863 - Convient aux jeunes et aux moins jeunes, aux végétariens et aux végétaliens - Non testé sur les animaux. Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 12 12 12 (tarif local) - www.vitalco.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

VÄSTERGÖTLANDS MUSEUM

Le génome de 442 individus a été séquencé dont celui de cette femme mise au jour sur le site funéraire viking de Varnhem (Suède).

Les Vikings n'étaient pas tous de grands blonds aux yeux bleus

Le séquençage de l'ADN ancien provenant de centaines de squelettes montre la diversité génétique de l'ascendance de ces guerriers.

PALÉOGÉNÉTIQUE La plus grande analyse ADN jamais réalisée sur des restes vikings a révélé que ces commerçants et guerriers venus du Danemark, de Norvège ou de Suède, avaient des origines mélangées. Ces résultats ont été obtenus à partir du séquençage d'ADN ancien prélevé sur des centaines de squelettes provenant de sites d'époque viking (800-1050) en Ukraine, Royaume-Uni, Scandinavie, Pologne, Russie et jusqu'au Groenland. Sous la direction du paléogénéticien danois Eske Willerslev, ces travaux démontrent que l'identité viking ne se limitait pas aux personnes d'ascendance scandinave. Comme la totalité des populations européennes, les Vikings véhiculaient des traits légués par des ancêtres plus ou moins éloignés, des paysans néolithiques venus des plaines du Danube aux esclaves capturés au cours des raids. Il y a en réalité eu un vaste brassage d'individus et de gènes, entre Arctique et Méditerranée, et de la Russie à l'Amérique du Nord. **B. A.**

La plus ancienne armure romaine retrouvée en Allemagne

ANTIQUITÉ La cuirasse bien conservée d'un soldat romain a été découverte dans la forêt de Teutobourg (Allemagne), théâtre supposé d'une des plus grandes défaites de Rome, en 9 après J.-C. Connue sous le nom de *lorica segmentata*, cette armure articulée portée par les légionnaires se composait d'une série de plaques en fer reliées entre elles par des charnières et lanières en cuir. **B. A.**

MUSEUM AND PARK KALKRIESE

Composée d'une série de plaques en fer, l'armure était articulée.

Rituels sanglants chez les anciens nomades de Sibérie

ARCHÉOLOGIE Un corps décapité dont le crâne a été remplacé par une vertèbre de mouton. Plus loin, des corps transpercés de coups d'épées… Cette découverte saisissante a été faite dans la vallée de l'Uyuk, en Sibérie, dans une nécropole des IIe, IIIe et IVe siècles située à proximité d'une tombe royale scythe. Ces pratiques seraient liées à la guerre et aux rituels de collectes de trophées auxquels se livraient les populations nomades inhumées en ces lieux. **B. A.**

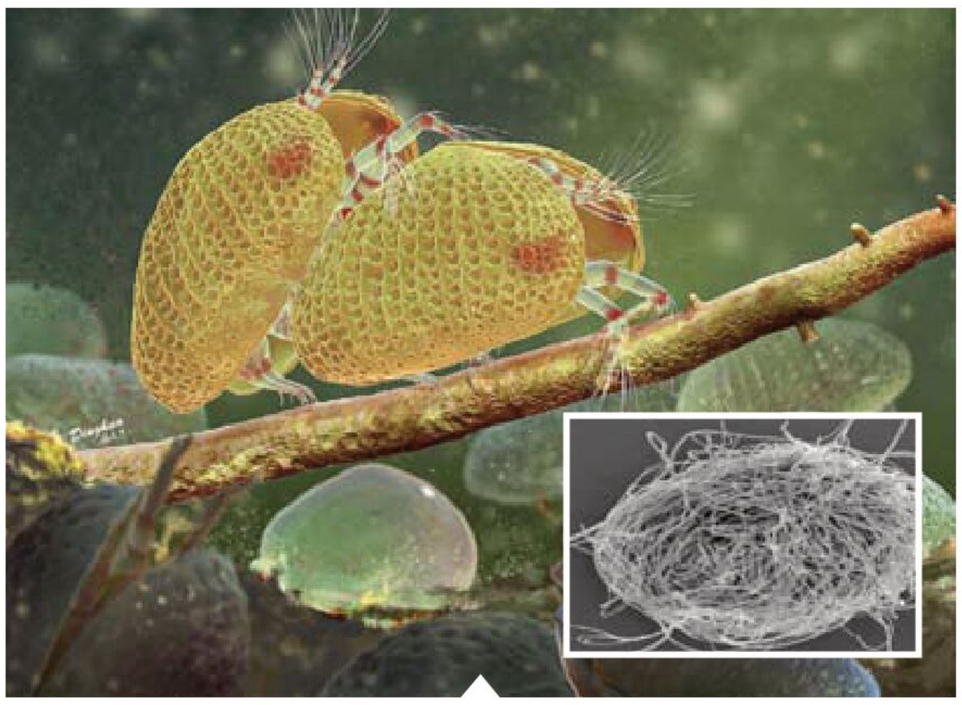
SOURCE : MARCO MILELLA, UNIVERSITÉ DE BERNE, SUISSE.

L'IMAGE

Voici le plus vieux spermatozoïde

PALÉONTOLOGIE Un minuscule crustacé femelle de l'espèce *Myanmarcypris hui* figé dans l'ambre depuis 100 millions d'années, a permis de découvrir les plus vieux spermatozoïdes connus à ce jour. Une reconstruction en 3D a révélé ces cellules reproductrices au sein de « réceptacles » dans lesquels elles ont été stockées après la copulation, prêtes à être libérées lorsque les œufs de la femelle auraient mûri. **A.-S. T.**

SOURCE : HE WANG, ACADÉMIE CHINOISE DES SCIENCES, PÉKIN, CHINE.



AFP - R. MATZKE-KARASZ

Datées de -100 millions d'années, les cellules mâles du crustacé microscopique (ici représentation d'un accouplement) sont dites géantes (en médaillon).

-232 millions d'années

La date de l'extinction massive qui a favorisé les dinosaures

ÉVOLUTION L'épisode pluvial du carnien (-337/- 237 millions d'années), marqué par une période de bouleversements durant laquelle le climat a été particulièrement chaud et pluvieux, a entraîné la disparition de 33 % de la vie marine et d'espèces emblématiques sur Terre comme les rhynchosauriens et les dicynodontes. Mais ces changements de faune et de flore ont contribué à l'essor des dinosaures. **J. I.**

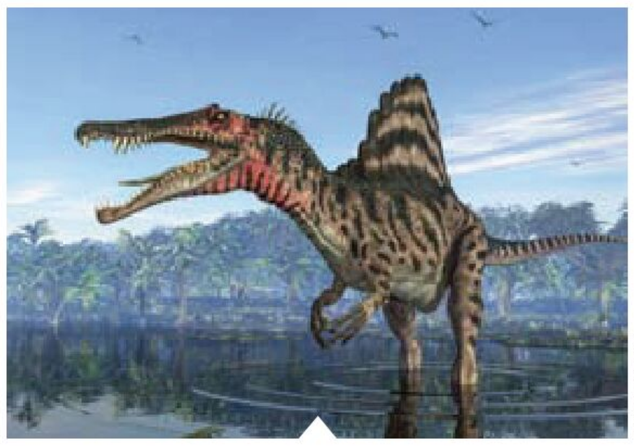
SOURCE : J. DAL CORSO, UNIVERSITÉ DE LEEDS, ROYAUME-UNI.

Des neurones conservés pendant 2000 ans

ARCHÉOANTHROPOLOGIE Un éclat de cerveau vitrifié retrouvé dans le crâne d'une victime de l'éruption du Vésuve, en 79 de notre ère, à Herculanum (Italie), a dévoilé la présence de cellules cérébrales. Conservées intactes pendant 2000 ans, elles ont été identifiées et visualisées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (SEM) et de techniques de traitement d'images. **B. A.**

SOURCE : PIERPAOLO PETRONE, UNIVERSITÉ DE NAPLES - FRÉDÉRIC-II, ITALIE.

Les spinosaures étaient des monstres des rivières



AKG IMAGES

Ce dinosaure théropodode avait un mode de vie aquatique (illustration).

PALÉONTOLOGIE Des centaines de dents de spinosaures ont été retrouvées dans le lit d'un ancien réseau fluvial, dans le désert de Kem Kem au Maroc. On suspectait depuis un moment que ces dinosaures théropodes aussi gros que des *Tyrannosaurus rex* passaient une partie de leur vie dans l'eau, notamment depuis la découverte d'une queue en forme de pagaie. Ces nombreuses dents indiquent qu'ils y mouraient aussi. **J. I.**

SOURCE : THOMAS BEEVOR, UNIVERSITÉ DE PORTSMOUTH, ROYAUME-UNI.

« Titanic » : la piste de l'aurore boréale

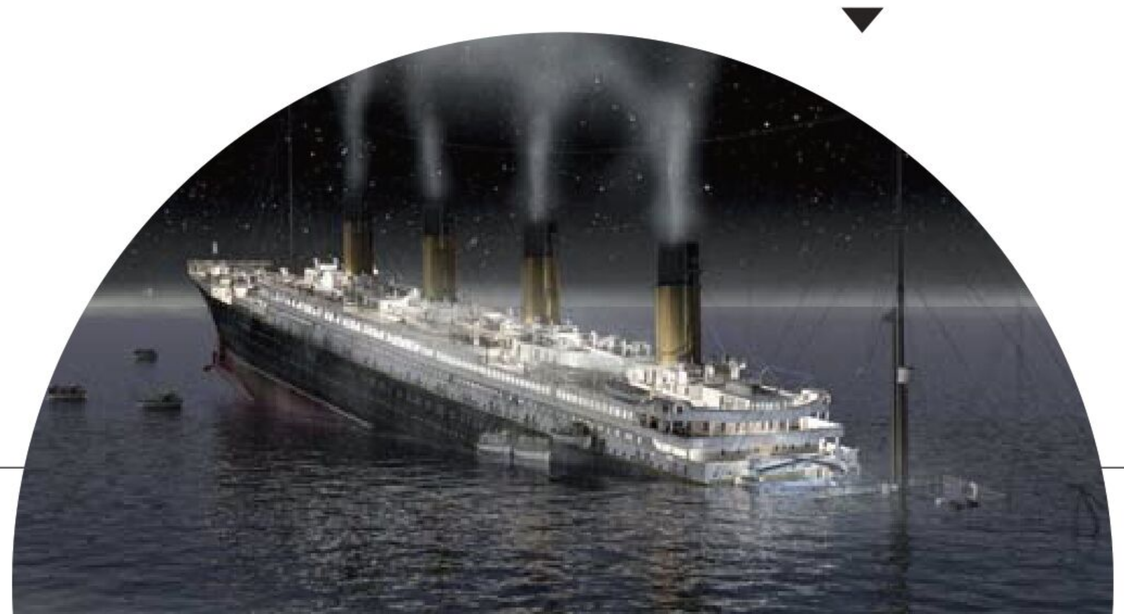
Les instruments de navigation auraient été déréglés par une perturbation du champ magnétique terrestre.

HISTOIRE NAVALE Un siècle après le naufrage du *Titanic*, voici une nouvelle hypothèse pour expliquer la catastrophe qui a fait 1500 morts : une aurore boréale ! En effet, Mila Zinkova, affiliée à l'université de Californie à San Francisco (États-Unis), a examiné les témoignages des survivants et ceux de l'équipage du *Carpathia*, le navire qui a secouru plus de 700 passagers. Tous ont vu les teintes éblouissantes du ciel en ce jour du 14 avril 1912 où le naufrage est survenu.

Or, ces spectacles célestes bien connus des habitants des régions polaires sont dus aux interactions entre l'activité solaire et le champ magnétique terrestre. Les particules chargées émises lors d'éruptions solaires perturbent les propriétés de l'ionosphère, cette couche de la haute atmosphère terrestre qui achemine les communications radio. Ainsi les outils de télécommunication, de navigation, comme les boussoles du *Titanic*, en auraient souffert. Selon l'étude, une erreur de position de 0,5 degré aurait suffi à acheminer le *Titanic* vers l'iceberg, entraînant ainsi sa perte... **A. Kh.**

AKG IMAGES

Le paquebot a fait naufrage en 1912, après une collision avec un iceberg (illustration).



www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr

Sciences et Avenir et *La Recherche* au quotidien

TECHNO

L'impact énergétique de la 5G

Le 27 août, le site du quotidien chinois *South China Morning Post* révélait que l'opérateur China Unicom coupe certaines antennes 5G la nuit pour « réduire les coûts en électricité ». La nouvelle génération de téléphonie mobile sera-t-elle donc un gouffre énergétique ? Charles Cuvelliez, de l'École polytechnique de Bruxelles (Belgique), s'empare du sujet et signe l'article « L'impact énergétique des réseaux de télécommunications 5G », en accès libre sur le site de **La Recherche** tinyurl.com/y53yfaeo

KOKI KATAOKA/YOMIURI/THE YOMIURI SHIMBUN/AFP

CERVEAU ET PSY

La mémoire éthique

C'est un petit arrangement confortable avec nous-mêmes. Après un acte peu reluisant, nous sommes prompts à oublier l'avoir commis, surtout si cette amnésie permet de justifier une seconde entorse, d'après des travaux du CNRS parus dans la revue *PNAS*.
SCIENCES AVENIR sciav.fr/885mémoire

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Patrimoine.
Une esquisse sous la Joconde

PASCAL COTTE

Selon les investigations de l'ingénieur Pascal Cotte, Léonard de Vinci aurait réalisé un tracé préparatoire désormais dissimulé sous son célèbre portrait.
sciav.fr/885Joconde

10 minutes

Nature.
La couleur des fleurs a changé

BIOSPHOTO

Sous l'effet du « trou » dans l'ozone et du réchauffement climatique, les fleurs ont modifié leurs teneurs en pigments pour se protéger du rayonnement UV.
sciav.fr/885fleurs

15 minutes

Pollution.
Du glyphosate après 2021

AFP

L'Anses rend public les cas où l'herbicide peut être remplacé, et les impasses.
Il ne serait ainsi pas totalement interdit mais soumis à des restrictions.
sciav.fr/885glyphosate

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

CLIMAT
Il faut agir

Inondations, incendies, submersion marine, sécheresse :
le changement climatique en cours accélère les phénomènes extrêmes.
Secteur par secteur, ce dossier détaille les solutions à mettre en place
pour contribuer à freiner la hausse de la température mondiale.

Dossier réalisé par
Loïc Chauveau, Rachel Mulot
avec Vincent Glavieux

GARE AUX DÉLUGES ! La tempête Alex qui a ravagé l'arrière-pays niçois en octobre est un nouvel avertissement sur ce qui attend le sud de la France si la température mondiale terrestre continue à grimper. Les simulations climatiques régionales envisagent jusqu'à 20 % d'intensité en plus pour les « épisodes méditerranéens » de ce type à chaque degré de réchauffement supplémentaire. Un chiffre qui devrait être validé, grâce à des modèles affinés, dans l'un des prochains rapports spéciaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat (Giec) à paraître en juillet 2021 *(lire p 32)*. « *Les cumuls de précipitations observés ont été tout à fait exceptionnels. Plusieurs records absolus ont été battus*, commente Véronique Ducrocq, de Météo France. *Ce sont des intensités de pluie qui ne se produisent normalement qu'une fois par siècle. Et c'est la deuxième fois cette année que l'on atteint un tel cumul de plus de 500 mm sur l'arc méditerranéen, après l'épisode du 19 septembre dans le Gard.* » Désormais, il ne faut plus se demander si de tels « épisodes cévenols » vont se répéter mais comment prévenir leurs dégâts… car plus l'eau se réchauffe, plus l'air est chaud et plus la pluie tombe dru. Les précipitations ne peuvent plus s'écouler en raison de l'imperméabilisation des sols et de l'urbanisation.

OLIVIER LEJEUNE/LE PARISIEN/MAXPPP

Des épisodes méditerranéens de plus en plus violents sont attendus (ici dans les Alpes-Maritimes, le 6 octobre) si la température mondiale continue d'augmenter.

L'été dernier, le ministère de la Transition écologique a élaboré un plan pour 15 départements menacés : en France, un habitant sur quatre et un emploi sur trois sont concernés. Comment lutter ? En tournant nos regards vers l'étranger : après les Pays-Bas, la Chine a lancé le concept de « villes éponges », prenant en compte le risque

INFOGRAPHIES : MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES & AVENIR - LA RECHERCHE

Tempêtes

Intensification des épisodes de vents violents avec fortes précipitations

Catastrophes naturelles

en 2050

Sécheresse
+20 % de dégâts

Inondations
+38 %

Toulouse

PARIS

Lyon

Strasbourg

Nucléaire

Problème de refroidissement des centrales du fait de la baisse de 50 % du débit des cours d'eau

Agriculture

Culture de la vigne devenue possible dans le Nord

Élevage

Chute de 15 % de la production de lait due aux canicules

Risques de submersions

Érosion et disparition des cordons de galets

Plages et criques menacées sur les côtes rocheuses

Submersion ou érosion accrues

Bordeaux

Limoges

Porto (Portugal)

Bordeaux

Migration

Chenille processionnaire du pin, moustique-tigre

-50 % à 1500 m dans les Alpes

Enneigement

-50 % à 1800 m dans les Pyrénées

Mégafeux

Incendies plus fréquents et plus puissants

Valence (Espagne)

Marseille

Saturation des puits de carbone

Fonte des glaces

Hausse du niveau des mers

Feux accrus

Menaces à l'horizon 2050

Si la hausse de la température moyenne à l'échelle mondiale dépasse 2 °C par rapport à la période industrielle — contre +1 °C actuellement — les eaux monteront encore et les puits de carbone seront saturés. Les phénomènes climatiques déjà perçus en France (sécheresse, tempêtes, inondations) ne pourront que se précipiter et s'aggraver.

VALÉRIE MASSON-DELMOTTE

CLIMATOLOGUE, GLACIOLOGUE AU CEA, MEMBRE DU HAUT CONSEIL POUR LE CLIMAT, PARTICIPE À LA PRÉPARATION DU 6e RAPPORT DU GIEC*, DONT ELLE COPRÉSIDE LE GROUPE N° 1 DEPUIS 2015.

« Chaque demi-degré compte »

« Toute politique publique et ministérielle, tous les grands investissements, devraient subir un test de "stress climatique". Et si la Cop26 a été reportée à 2021, en raison du Covid-19, le travail du Giec* s'est poursuivi notamment sur les impacts : ceux des risques climatiques, comme ceux des différentes options pour les contrer.
Un rapport spécial, prévu pour juillet 2021, analyse entre autres les défis aux échelles régionales : besoin de chauffage ou climatisation, rendement agricole, etc. Il sera complété par un atlas interactif. Malheureusement, les promesses, dans le monde comme en France, ne sont pas à la hauteur de l'ambition de l'accord de Paris sur le climat de décembre 2015, qui était de maintenir la hausse de température en dessous de 2 °C par rapport à la période industrielle. Pourtant, chaque demi-degré, chaque année, chaque recherche de solution, chaque choix politique comptent ! Surtout vis-à-vis des régions littorales ou des pays les plus vulnérables qui ont peu contribué au problème mais sont en première ligne. Attention : tous les écosystèmes, toutes les activités humaines sont déjà affectés et le seront plus encore demain, si la température terrestre mondiale grimpe. On perçoit mieux la fragilité des terres émergées, qui feront face à des risques majeurs (feux, érosion des sols, etc.), menaçant notre sécurité alimentaire.
Plus le réchauffement augmente, plus on a besoin de s'adapter ! Réduire les émissions de CO_2, ou celles de méthane maintenant permettrait une action à plus long terme. Plus on tarde à agir, plus la marge manœuvre des jeunes générations sera réduite. Face à l'ampleur des

QUENTIN PERRIER

CHERCHEUR FISCALITÉ ET BUDGET CLIMAT À L'INSTITUT DE L'ÉCONOMIE POUR LE CLIMAT (I4CE)

« En France, 30 milliards d'euros pour l'écologie »

« Sur les 100 milliards d'euros du plan de relance annoncé par le Premier ministre Jean Castex, nous avons identifié 30 milliards favorables à l'environnement, dont une vingtaine pour le climat. Ce sont des montants additionnels par rapport aux budgets précédents — c'est en tout cas ce que le gouvernement a indiqué —, qui seront utilisés sur la période 2021-2022. C'est un bon début mais il ne faudra pas relâcher les efforts ! Globalement, les sommes annoncées sont en ligne avec les besoins de financement que mes collègues et moi avons estimés, au regard de la stratégie nationale de réduction des émissions de CO_2. Dans certains domaines, elles sont même plus ambitieuses : la rénovation thermique des bâtiments publics (6 milliards) ; le ferroviaire, où la somme promise (4,7 milliards) va permettre de réaliser des investissements lourds (régénération du réseau...) ; le vélo, où les 150 millions d'euros annoncés serviront, notamment,

« Les promesses, en France comme dans le monde, ne sont pas à la hauteur »
Valérie Masson-Delmotte

changements nécessaires et à l'inertie de nos structures, le Giec construit aussi des outils pour évaluer les différentes stratégies. Demain, les décideurs, les politiques, les administrations auront toute l'information disponible pour apprécier les leviers disponibles (finance, gouvernance, etc.) ainsi que les conséquences de leurs choix à long terme. » ■

Propos recueillis par Rachel Mulot

* Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

- dès la construction de nouveaux quartiers avec toitures végétalisées, matériaux mous, bétons poreux, lacs et parcs urbains permettant de capter et stocker l'eau en cas de crue. « *Le temps pour nous adapter se réduit* », prévient la climatologue Valérie Masson-Delmotte *(lire l'interview ci-contre)*. En France, le Sud est la région la plus vulnérable, menacée par ailleurs de sécheresse aggravée et de mégafeux du type de ceux qui embrasent la Californie ou l'Australie chaque année ou encore de submersion marine. Sans parler de la prolifération du moustique-tigre... mais globalement c'est tout le rendement agricole de l'Hexagone qui pourrait souffrir.

Les humains responsables à 100 % des gaz à effet de serre

Pour résumer l'urgence de la situation, rappelons que la température terrestre mondiale a augmenté de 1 °C depuis la révolution industrielle et que les émissions de gaz à effet de serre qui l'ont provoquée sont à 100 % dues aux humains, selon les constats scientifiques. On observe mondialement un recul des glaciers, une fonte accrue des sols gelés, une diminution de la capacité des forêts ou des océans à stocker le carbone, ainsi qu'une augmentation des vagues de chaleur, des pluies torrentielles, une montée des eaux. Les impacts sont déjà visibles sur tous les écosystèmes, en perte de biodiversité. « *La température mondiale augmente de 0,2 °C tous les dix ans. Une simple extrapolation montre qu'à ce rythme, nous atteindrons 1,5 °C supplémentaire entre 2030 et 2050* », souligne Valérie Masson-Delmotte. L'enjeu est de ne pas dépasser les 2 °C : un point au-delà duquel s'enclencheront des phénomènes de rétroaction, qui ne feront qu'amplifier et aggraver les phénomènes. Et ce défi devra mobiliser les citoyens, comme les décideurs. ■ **R. M.**

@RachelFleaux.

à amplifier l'aménagement de pistes cyclables. Restent des points de vigilance, comme le secteur de la rénovation privée des bâtiments. Le montant (2,5 milliards) pourrait convenir s'il est envisagé dans une logique de structuration de la filière et s'il continue de croître par la suite, mais rien n'indique que ce sera le cas. De manière générale, la pérennisation — et même l'amplification — de l'effort budgétaire au-delà de 2022 reste un enjeu crucial : le climat a besoin d'une action dans la durée. Il y a aussi la question des véhicules. Ces dernières années, le gouvernement a misé sur la prime à la conversion, qui a "boosté" l'essor du véhicule électrique — une bonne chose — mais aussi celui de véhicules thermiques très carbonés (jusqu'à 109 grammes de CO_2 par kilomètre, alors que le seuil généralement retenu pour un véhicule bas carbone est 50 g de CO_2/km). Or le plan de relance n'a pas fait évoluer les barèmes pour exclure ces véhicules très polluants... Enfin, il y a l'hydrogène (2 milliards d'euros en 2021-2022 puis 7 milliards d'ici à 2030). Cette technologie pourrait jouer un rôle important dans la décarbonation des économies. Cependant, elle n'est pas encore mature et n'a pas fait la preuve de sa rentabilité économique. On peut donc s'interroger sur le fait d'investir de tels montants à très court terme. » ■

Propos recueillis par Vincent Glavieux

« La pérennisation - et même l'amplification - de l'effort budgétaire reste un enjeu crucial » **Quentin Perrier**

PHOTOS : JULIE BALAGUÉ POUR SCIENCES & AVENIR - LA RECHERCHE

LA VILLE

S'engager sur la route du « zéro carbone »

En milieu urbain, la baisse significative des émissions de gaz à effet de serre passe par la mise à niveau des logements, la suppression des moteurs thermiques et une refonte des modes de travail et de circulation.

VILLE DE PARIS - APUR - CÉLINE ORSINGHER

La rénovation thermique des bâtiments

De 500 000 à un million de logements rénovés par an : voilà l'effort que la France devra accomplir pour respecter la loi de transition énergétique votée en 2019 qui inclut une diminution de moitié des émissions de gaz à effet de serre du secteur d'ici à 2030. C'est que le bâtiment représente 28 % des émissions de CO_2 et qu'elles sont dues à plus de 80 % aux fuites thermiques des chauffages et climatisations. Mais atteindre cet objectif va nécessiter d'y consacrer chaque année pas moins de 20 milliards d'euros. Et les investissements consentis entre 2016 et 2018 n'ont permis de rénover que 300 000 logements. Pourtant les techniques sont au point et les artisans de mieux en mieux formés pour les appliquer. Aussi les 2 milliards supplémentaires ajoutés au budget de la rénovation, en septembre pour 2021 et 2022, par le plan de relance de l'économie à la suite de la crise du Covid-19 sont-ils les bienvenus. Reste à s'assurer qu'ils soient pérennisés *(lire p. 32)*. Et aussi à convaincre les Français d'investir dans des travaux qui ne seront rentabilisés qu'après plusieurs années grâce aux économies réalisées sur leur facture de chauffage et d'électricité. Pour les ménages les plus modestes la Prime Rénov' vient d'être relancée : elle avance jusqu'à 90 % du montant des investissements. Se félicitant de cette manne qui va relancer l'activité du secteur, la Fédération française du bâtiment annonce pouvoir former 150 000 nouveaux professionnels d'ici à 2023. Mais c'est bien 50 000 artisans supplémentaires par an jusqu'en 2030 qui seront nécessaires.

28 %
La part du bâtiment dans les émissions de CO_2.

2 milliards d'euros
Le montant supplémentaire ajouté au budget de la rénovation pour les années 2021 et 2022.

2024
L'année à partir de laquelle les véhicules Diesel seront interdits de circulation dans Paris.

La fin des voitures thermiques

Une mort annoncée. Seules les échéances restent discutées. Le moteur thermique aura disparu à une date comprise entre 2040 et 2050, selon les prévisions plus ou moins ambitieuses des constructeurs, des ONG ou des ingénieurs des bureaux d'études. Les moteurs essence et Diesel seront interdits dans la plupart des villes au cours de la prochaine décennie. Paris a déjà annoncé que 2024 sera l'année du bannissement du Diesel. Le véhicule électrique ne pèse aujourd'hui que 2 % du parc automobile français. Ce sera peut-être la moitié en 2030. Mais il faut encore vaincre une série d'obstacles. Le premier est la conversion du réseau d'approvisionnement en carburants fossiles vers l'électricité. Les bornes de recharge commencent à être installées sur les aires d'autoroutes et les lois d'aménagement égrènent les dispositions visant là à favori-

LAURENT GRANDGUILLOT/REA

Les véhicules électriques ne représentent aujourd'hui que 2 % du parc automobile français.

VILLE VERTE

Laisser pénétrer la nature

Planter des arbres ! Tel a été le leitmotiv des candidats aux élections municipales du printemps 2020. Qu'auront-ils réalisé dans dix ans ? Car il ne s'agit pas seulement d'orner des trottoirs mais bien de faire pénétrer la nature en ville pour la transformer en profondeur. À Lyon, l'autoroute A6 plongeant dans le tunnel de Fourvière sera plantée d'arbres dès 2027 comme l'agglomération en a décidé en 2018. Et la région Île-de-France a prévu d'ici à 2030 2300 hectares supplémentaires de parcs et jardins ainsi que 350 liaisons vertes pour y faire circuler la vie sauvage.

◀ **Le parvis de l'hôtel de ville de Paris** va être végétalisé dans le cadre du projet de « débitumisation » voulu par la municipalité (vue d'artiste).

ser l'implantation de bornes de recharge sur les parkings publics et les copropriétés, ici à favoriser l'autopartage et la location plutôt que l'acquisition des voitures individuelles. « L'Airbus des batteries », qui ambitionne la création d'une filière industrielle européenne, décidé entre l'Allemagne et la France pour rapatrier la fabrication en Europe, doit écarter le risque de dépendance vis-à-vis de l'Asie qui construit actuellement 98 % des batteries.

Reste que l'électricité ne sera peut-être pas la seule source d'énergie des véhicules du futur. L'hydrogène va bénéficier d'une nouvelle stratégie européenne. La France et l'Allemagne, qui ont annoncé des investissements respectifs de 7 et 9 milliards d'euros sur la décennie, veulent voir émerger cette technologie apte à équiper les poids lourds. Le bio-GNV (gaz naturel pour véhicules) pourrait lui aussi constituer une piste pour alimenter les véhicules à grande échelle.

La réorganisation urbaine

Les tendances qui commençaient à se dessiner sont apparues en plein jour avec la crise du coronavirus : les méthodes de travail, les besoins des individus, les modes de fabrication des objets vont connaître une vraie révolution et entraîner la fin partielle des très coûteux déplacements entre domicile et travail. Le Covid-19 a fait exploser le télétravail (27 % des salariés au plus fort du confinement), obligeant à réfléchir sur la présence au bureau. Dès lors, la façon de bouger change. Selon le Forum des mobilités, bureau de recherche de la SNCF, la priorité des politiques publiques devrait aller à la réduction des besoins de déplacement notamment par le télétravail, puis au transfert des trajets en voiture individuelle vers les transports en commun, le vélo et la marche, et seulement en dernier lieu à l'électrification du parc automobile. Enfin, la prise en compte, dans le plan biodiversité du gouvernement de 2018, des problèmes liés à l'étalement urbain et à l'artificialisation des sols ainsi que l'arrêt des constructions des zones commerciales en périphérie des villes, adopté à la suite de la Convention des citoyens, pourraient stopper la tendance à un allongement des distances entre domicile, travail et lieux de loisirs. ■ **L. C.**

POUR EN SAVOIR PLUS

- La stratégie nationale bas carbone : **sciav.fr/885bascarbone**
- Réduire l'empreinte carbone de la mobilité en France : **sciav.fr/885mobilités**

ÉCONOMIE

VINCENT JAROUSSEAU/HANS LUCAS

Revoir les schémas de production

Les défis sont immenses pour concevoir des produits avec des techniques vertueuses pour l'environnement. Tout en utilisant une énergie verte…

35 %
La baisse prévue par la programmation pluriannuelle de l'énergie de la part du pétrole, du gaz et du charbon en France en 2028 par rapport à 2012.

45 %
Le pourcentage des déchets ménagers recyclés en France en 2020 contre 70 % en Allemagne.

79 millions de tonnes de CO_2
ont été émis par les industries du ciment, de l'acier et du verre en France en 2017, soit 17 % du bilan national.

Les énergies renouvelables

Le défi est immense. Avec le recul de la part du pétrole, du charbon et du gaz, celle de l'électricité dans la consommation finale d'énergie va passer au niveau mondial de 20 % aujourd'hui à 50 % en 2070 selon les chiffres publiés en août dernier par l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Cela signifie que tous les ans, il faudra ajouter en production l'équivalent de la consommation électrique du Mexique et du Royaume-Uni, soit 30 000 milliards de kWh sur 50 ans alors que la consommation actuelle est de 24 000 milliards ! L'AIE affirme que cette production peut être assurée par les énergies renouvelables, avec un « panier » de sources mêlant l'éolien, le solaire, la biomasse, l'hydrogène. L'agence table aussi sur les économies d'énergie et l'amélioration des performances des machines.

En France, l'objectif de neutralité carbone (c'est-à-dire une stricte égalité entre émissions et absorption des gaz à effet de serre) en 2050 est inscrit dans la loi depuis 2004. La dernière « programmation pluriannuelle de l'énergie » (PPE) couvrant la période 2019-2028, prévoit une baisse de 35 % de la part du pétrole, du gaz et du charbon en 2028 par rapport à 2012, une baisse de 16,5 % de la consommation finale d'énergie, et un doublement des capacités installées des énergies renouvelables. Quatre à six réacteurs nucléaires devront fermer sans recours aux énergies fossiles pour les remplacer. Mais ce scénario a été bousculé par la crise du coronavirus : l'Union européenne a fait passer de 40 % à 55 % l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030. Il ne sera atteint que si la baisse brutale de l'activité économique en 2020 est suivie d'une reprise réellement « écologique ».

L'économie circulaire

Faire du déchet une matière première. C'est le but de l'économie circulaire. Au schéma linéaire qui va de l'extraction d'une matière à sa mise en décharge, l'économie

« ZÉRO DÉCHET »

Une consommation responsable

Le « zéro déchet » s'appuie sur des principes rigoureux. Il passe par une « consommation responsable » ou l'acheteur prend en compte la durée de vie du produit et évite les marques pratiquant « l'obsolescence programmée ». Il se poursuit avec l'allongement de la durée d'usage qui prend diverses formes : seconde utilisation grâce à des recycleries, réparation, marché de l'occasion. Le recyclage n'est ainsi que l'ultime solution pour un produit en fin de vie.

◄ **Réparer plutôt que jeter :** les recycleries permettent ainsi une réutilisation des appareils ménagers.

circulaire oppose un circuit où le déchet est réutilisé pour éviter d'épuiser les ressources de la planète. En France, 107 millions de tonnes de papier-carton, verre, plastique, métaux ferreux et non ferreux, bois, textiles, solvants ont été récupérées en 2018 pour être orientées vers des filières de recyclage. Le chiffre peut paraître élevé mais en réalité, la France est en retard sur les objectifs assignés en 2008 par l'Union européenne : alors qu'elle devait recycler la moitié de ses déchets ménagers en 2020, elle n'en recycle encore que 45 %. L'Allemagne, elle, atteint les 70 %. Pis, pour ce qui est du plastique, le taux plafonne à 26 %, le plus mauvais score européen.

La loi sur l'économie circulaire promulguée le 10 février 2020 entend corriger cette situation en promouvant l'écoconception, l'écologie industrielle qui favorise le partage des ressources (eau, chaleur, résidus de fabrication) entre industries voisines et l'économie de la « fonctionnalité », c'est-à-dire l'incitation à vendre un service plutôt qu'un bien. L'écoconception progresse.

POUR EN SAVOIR PLUS

▸ Loi et définition de l'économie circulaire : **sciav.fr/885ecocirc**

Des start-up issues d'universités comme Carbiolice (université de Toulouse) ou de centres de recherche comme Jeplan (Institut français du pétrole) développent des démonstrateurs de recyclage et de régénération des plastiques.

La « décarbonation » de l'industrie

Comment ne plus émettre de CO_2 quand on fabrique du ciment, de l'acier ou du verre ? Ces filières industrielles dites énergo-intensives comprennent également l'aluminium, le chlore, l'éthylène et ses associés, l'ammoniac, le papier-carton et le sucre. En France, ces secteurs ont émis 79 millions de tonnes de CO_2 en 2017 soit 17 % du bilan national. La décarbonation de leurs procédés de fabrication se heurte à deux difficultés. La première est que les techniques plus modernes exigent des dépenses très importantes avec des retours sur investissements lointains qui font hésiter les industriels comme les banquiers qui peinent à prendre en compte les enjeux de la réduction des gaz à effet de serre.

En France, l'Ademe est en train de compiler les techniques qui permettent de réduire les émissions comme le remplacement d'une chaudière au fioul fossile par un modèle fonctionnant au bois (renouvelable). Le secteur cimentier français (5 entreprises pour une production de 16,5 millions de tonnes de ciment par an sur 27 sites) est le premier à avoir bénéficié de la démarche. Les solutions « bonnes pour le climat » vont de la rénovation des process les plus anciens, à l'alimentation des fours par des déchets (pneus usagés, rebuts industriels) en passant par la baisse du taux d'utilisation de calcaire et d'argile. Ainsi, la technique de la « voie sèche » avec capture et stockage du CO_2 permet d'abaisser de 95 % les émissions, mais pour un investissement de près de 400 millions d'euros. *« Avec ces renseignements, les financiers savent qu'ils orientent leurs fonds vers une action pour le climat et peuvent le faire savoir*, précise Gaëtan Cals, promoteur de la démarche à l'Ademe. *Et ils peuvent également rassurer les épargnants sur la bonne utilisation de leur argent. »* ■ **L. C.** ▸

AGRICULTURE

AUGUSTIN LE GALL/HAYTHAM-REA

En utilisant moins d'engrais chimiques, l'agroécologie permet de préserver les ressources naturelles.

Apprendre à cultiver et à se nourrir différemment

La filière agricole, qui pèse dans le changement climatique, ne parvient pas à nourrir correctement les populations. Pourtant des solutions existent.

20 %
La part du modèle productiviste dans l'émission des gaz à effet de serre au niveau français et mondial.

30 %
C'est le pourcentage de denrées alimentaires qui sont jetées dans les pays riches.

880 millions de personnes
souffrent de la faim ou sont malnutries dans le monde.

L'agroécologie

C'est le mot que l'on retrouve le plus souvent dans le langage des chercheurs, des agronomes, des négociateurs internationaux, des fonctionnaires européens et des ministres français. Il est moins souvent prononcé chez les agriculteurs, les premiers concernés, encore marqués par le système intensif dominant. Le modèle productiviste actuel est pourtant responsable de 20 % des émissions de gaz à effet de serre nationales et mondiales alors que les sols agricoles pourraient constituer un « puits » à carbone et effacer presque totalement les émissions provenant des engrais chimiques et de la consommation d'énergie des machines agricoles. L'agroécologie regroupe une série de techniques qui s'appuient sur les services fournis par la nature et ambitionnent de réduire l'usage des engrais chimiques et des pesticides. L'objectif français est de diminuer de moitié ces produits dès 2025. L'agriculture biologique en premier lieu, mais aussi l'agriculture de conservation des sols, l'agroforesterie (combinaison d'arbres et de cultures), la haute-valeur environnementale (HVE qui promeut les techniques moins gourmandes sans interdire les pesticides), les mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC, financées par la PAC) forment l'éventail des solutions proposées aux exploitants. Aujourd'hui, moins de 10 % de la surface agricole utile française a emprunté l'une de ces voies. L'objectif pour 2050 de l'Union européenne est que l'ensemble de l'agriculture ait basculé dans ces alternatives. D'autant plus que, pour des exploitations à surface et production comparables, l'agroécologie rapporte 25 % de revenus de plus que le modèle productiviste, vient de montrer une étude d'août 2020 de France stratégies, l'organe de réflexion du gouvernement.

L'agroécologie est au cœur des discussions de la politique agricole commune (PAC) qui devraient aboutir en 2023. Il s'agit de rééquilibrer les aides perçues par les agriculteurs, majoritairement attribuées selon la surface de l'exploitation et non sur des critères environnementaux. « *Pour une même production*, note France stratégies, *les montants d'aides totaux à l'hectare sont plus importants pour une production moins exigeante du point de vue environnemental.* » C'est bien là le cœur du problème.

ENTREPRISES, COLLECTIVITÉS, FINANCEZ VOS BESOINS DE RECHERCHE,

DANS LES DOMAINES DES PROCÉDÉS TECHNOLOGIQUES, DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA VIE, DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Dans le cadre d'un partenariat entre un étudiant, son laboratoire d'accueil et vous, l'ADEME vous aide à produire des connaissances nouvelles et renforce les capacités humaines de votre R&D en finançant un doctorant pendant 3 ans !

ENSEMBLE POUR CONSTRUIRE UN MONDE PLUS DURABLE

www.ademe.fr/theses

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

CONCEPTION & RÉALISATION GRAPHIQUE : OLFA NEMSI

ALAIN GUILHOT/DIVERGENCE

PROTÉINES

Trop de viande au Nord, pas assez au Sud

Au néolithique, le régime alimentaire des humains ne comprenait que 20 % de protéines animales. Aujourd'hui, dans les pays riches, elles représentent jusqu'à 70 % des apports en protéines. Les agences de l'ONU recommandent donc un retour à 50 % autant pour des raisons de santé (la viande rouge est classée comme « cancérogène probable » par l'OMS) que pour permettre aux populations les plus pauvres d'accéder aux protéines animales et satisfaire ainsi leurs besoins essentiels.

◀ **La viande rouge** est classée « cancérogène probable » par l'OMS.

La fin du gaspillage alimentaire

Selon l'organisation de l'ONU pour l'agriculture et l'alimentation (FAO), de 30 à 50 % de la production agricole serait gaspillée. Dans les pays en voie de développement, la mauvaise organisation des filières d'acheminement des produits aux marchés et l'état des routes et voies ferrées sont principalement responsables de pertes difficiles à estimer. Dans les pays riches, la distribution des aliments, leur commercialisation et les négligences des consommateurs expliquent le remplissage accéléré des poubelles et le fait que 30 % des denrées alimentaires sont jetées. Or, 28 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre proviennent de la production, distribution, conditionnement et consommation des produits alimentaires.

Dans les pays en voie de développement et notamment en Afrique subsaharienne, les agriculteurs ont peu accès aux engrais et ne bénéficient pas des transports leur permettant d'acheminer leurs récoltes jusqu'aux villes. Outre une meilleure gestion de l'eau et des sols par l'agroécologie, ces paysans se regroupent désormais en coopératives pour mieux accéder aux marchés.

Dans les pays riches, la lutte contre le gaspillage alimentaire est aujourd'hui considérée comme une cause essentielle. En France, la loi du 21 octobre 2019 interdit aux magasins alimentaires de mettre au rebut les produits dont la date limite est proche ou dépassée pour favoriser le don à des associations agréées quand cela est possible. La restauration collective a également des objectifs de réduction des déchets. Un premier bilan de cette loi sera fait en 2021.

Un système alimentaire mondial durable

« Aucun levier n'est plus puissant que l'alimentation afin d'optimiser la santé humaine et la durabilité de notre environnement. » Cette sentence émane des 37 scientifiques de la commission EAT-Lancet créée en 2018 par la revue médicale britannique *The Lancet*. La démarche part d'un constat : le fonctionnement désastreux du système alimentaire actuel. Alors que celui-ci est l'un des principaux responsables du changement climatique, de la destruction des milieux naturels et de la perte de fertilité des sols, la filière agroalimentaire ne nourrit pas correctement les populations. La production actuelle de protéines suffit largement à nourrir les 7 milliards d'humains et pourtant 880 millions de personnes ont faim ou sont malnutries. À l'opposé, 2,4 milliards de Terriens souffrent d'obésité et de diabète.

Les chercheurs d'EAT ont donc publié en 2018 un régime alimentaire qui ne nécessiterait pas plus de 13 millions de kilomètres carrés de surface pour nourrir 10 milliards d'habitants contre 48 millions de kilomètres carrés aujourd'hui. Cet énorme fossé est dû à l'élevage qui occupe 40 millions d'hectares de prairies mais aussi de champs pour la culture des aliments du bétail (soja, maïs). Le régime idéal pour la planète impose une consommation limitée de viande et comprend pour moitié des fruits, légumes, grains et noix, avec en option les œufs et les produits laitiers. ■ **L. C.**

@Loic_Chauveau

POUR EN SAVOIR PLUS

▶ Les dix principes de l'agroécologie selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : **sciav.fr/885FAO**

ASPC
Alliance Sorbonne
Paris Cité

Festival des idées Paris

5e édition

nouvelles normalités

20 – 21 nov. 2020

Conférences, jeux-débats, rencontres, tables rondes.

Gratuit dans le Grand Paris et en ligne.
www.festivaldesidees.paris

festivaldesidees Festivaldesidees FdiParis

philosophie magazine · Le Point · Radio Campus Paris · Pour la Science · Sciences Avenir · The Conversation · Belleville · CRI · Anima Fac · Université de Paris · Université Sorbonne Paris Nord · SciencesPo · Inalco · Paris Val de Seine · ined

Bételgeuse, étoile à l'agonie

Pourquoi l'un des astres les plus brillants du ciel nocturne a-t-il perdu près de 70 % de sa luminosité ? Pour la première fois, la mort d'une étoile est peut-être en passe d'être observée…

Par Franck Daninos @fdaninos

« C'EST VRAIMENT FABULEUX ! *Une opportunité unique pour mieux comprendre la fin de vie des étoiles* », s'enflamme Miguel Montargès, de l'Institut d'astronomie de Louvain, en Belgique. À l'instar de nombreux scientifiques, le chercheur scrute depuis plusieurs mois les moindres tressaillements de Bételgeuse, l'une des étoiles les plus brillantes du ciel nocturne, perchée dans la constellation d'Orion. Une quinzaine de télescopes parmi les plus performants au monde ont été mobilisés depuis près d'un an — parfois en urgence — pour acquérir un maximum d'informations. Car entre décembre 2019 et mars 2020, cet astre rouge-orangé situé à quelque 700 années-lumière de la Terre a perdu près de 70 % de sa luminosité. Du jamais vu de mémoire d'astronomes ! De quoi mettre ces derniers en ébullition et faire penser à certains que Bételgeuse serait en train d'agoniser sous nos yeux et pourrait même exploser prochainement dans un gigantesque feu d'artifice céleste. « *L'origine de ce comportement inouï n'est toujours pas élucidée même si les hypothèses s'affinent*, indique Miguel Montargès. *Il devrait nous fournir, dans tous les cas, des informations iné-*

Une explication possible du comportement étrange de l'étoile : une prodigieuse quantité de matière expulsée par Bételgeuse aurait formé, en se refroidissant, un nuage de poussière, obscurcissant ainsi le quart de la surface de l'astre. Ce scénario a été mis au point à partir des mesures dans l'ultraviolet prises par le télescope spatial Hubble (vues d'artiste).

NASA, ESA, AND E. WHEATLEY (STSCI)

dites sur le glas des étoiles et la manière dont elles ensemencent l'Univers en dispersant la matière qu'elles fabriquent. »

Bételgeuse est de toute évidence une étoile mourante. Elle n'est certes âgée « que » de 8 millions d'années — soit 500 fois moins que le Soleil —, mais elle est déjà parvenue au soir de son existence. Car sa masse faramineuse, 15 à 20 fois celle de notre étoile, la fait évoluer beaucoup plus rapidement. Bételgeuse a ainsi brûlé, par le biais des réactions de fusion thermonucléaire, la quasi-totalité de son hydrogène. Et c'est désormais d'autres atomes, à commencer par l'hélium, qui fusionnent pour créer des éléments de plus en plus lourds : carbone, néon, oxygène, silicium et, lors des toutes dernières réactions, des atomes de fer. Conséquence, le cœur de l'étoile se contracte et s'effondre sur lui-même tandis que son enveloppe grossit sous l'effet de réactions de plus en plus énergétiques. Si Bételgeuse était placée au centre du système solaire, elle engloutirait ainsi Mercure, Vénus, la Terre, Mars et jusqu'à l'orbite de Jupiter !

C'est en octobre 2019 que les astronomes ont commencé à repérer chez cette « supergéante rouge » une baisse notable de luminosité. Rien de très alarmant au départ puisque Bételgeuse est connue depuis le XIXe siècle pour être une étoile « variable ». Son éclat fluctue en effet selon des cycles d'environ 420 jours, en raison des pulsations de l'enveloppe qui gonfle et se dégonfle. Mais la baisse de luminosité s'est poursuivie cette fois-ci de manière inédite en près d'un siècle et demi d'observations. Habituellement classée au 10e rang des étoiles les plus brillantes, elle a dégringolé en février 2020 en 21e position ! Puis Bételgeuse s'est remise à briller jusqu'à retrouver en avril son éclat habituel. Comment expliquer un tel phénomène ? Serait-

SIGNALEMENT

Bételgeuse

- Catégorie : Supergéante rouge.
- Âge : 8 millions d'années.
- Distance : environ 700 années-lumière.
- Masse : 15 à 20 fois celle du Soleil.
- Diamètre : 600 millions de kilomètres.

ce le signe d'une fin imminente, un dernier soupir avant que le colosse n'explose et produise ce que les scientifiques appellent une « supernova » ? Largement relayé dans les médias internationaux, ce scénario ne manque pas de saveur. Il produirait en effet une formidable féerie céleste : un point aussi brillant que la Lune, même en plein jour et durant plusieurs semaines, avant qu'un hypnotique halo lumineux ne se répande tout autour.

Pour les scientifiques, ce serait l'occasion d'étudier en détail et avec des instruments de pointe la mort d'une étoile, phénomène rarissime à l'échelle humaine *(lire ci-dessous)*. « *Nous n'avons encore jamais eu la chance d'observer une supernova dans de telles conditions* », signale Xavier Haubois, astronome à l'Observatoire européen austral. Des milliers de supernovae ont certes été repérées par les chercheurs, mais jamais au seuil de l'explosion. Et elles étaient toujours extrêmement lointaines. La plus proche jamais surprise dans l'œil d'un télescope remonte ainsi à 1987. Elle se trouvait dans le Grand Nuage de Magellan, une galaxie voisine de la nôtre… à plus de 160 000 années-lumière tout de même de la Terre ! « *De précieuses informations avaient pu alors être collectées mais c'est sans commune mesure avec ce que Bételgeuse nous révélerait si elle explosait sous nos yeux* », souligne Nicolas Prantzos, de l'Institut d'astrophysique de Paris.

P. KERVELLA

« L'explosion d'une étoile ne serait précédée d'aucun signe avant-coureur »

Pierre Kervella, astronome au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique de l'observatoire de Paris

Une explosion demain… ou dans 30 000 ans

Rien ne certifie cependant qu'un tel processus soit à l'œuvre. « *Selon nos connaissances de la physique stellaire, l'explosion d'une étoile ne serait précédée d'aucun signe avant-coureur* », signale Pierre Kervella, astronome au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lesia) de l'observatoire de Paris. Les dernières étapes sont effectivement très rapides. Tandis que la fusion de l'hélium se déroule sur des dizaines de milliers d'années, les ultimes réactions transformant le silicium en fer ne durent que quelques heures. Le problème, c'est que la lumière émise depuis le cœur des étoiles ne se déplace pas en ligne droite mais en zigzags et met ainsi des milliers d'années à parvenir jusqu'à l'enveloppe. « *Cela implique que les supergéantes conserveraient le même aspect visuel jusqu'à l'explosion*, précise Pierre Kervella. *Et qu'on ne connaît pas exactement le stade évolutif atteint par Bételgeuse…* » Elle pourrait ainsi exploser demain, dans un siècle… ou dans 30 000 ans !

« *Ce qui s'est produit ces derniers mois est cependant si inhabituel que cela nous dit quand même quelque chose d'important sur la fin de vie des étoiles massives* », insiste l'astronome. D'où la mobilisation de la quinzaine de télescopes dans le monde pour acquérir un maximum d'informations. Ces dernières ont fait émerger deux types d'hypothèses. La première est défendue notam-

HISTOIRE DES SCIENCES

Un phénomène rarissime dans la Voie lactée

La dernière supernova visible à l'œil nu à avoir explosé dans notre galaxie a été examinée en 1604 par l'astronome allemand Johannes Kepler, d'où le nom de « supernova de Kepler » qui lui a été attribué. Elle est restée observable pendant près d'une année dans la constellation d'Ophiuchus. Kepler parlait alors d'« étoile nouvelle » (*Stella Nova*), pensant que cet éclat aussi intense qu'éphémère trahissait la naissance d'un astre et non sa disparition. Mais des observations menées en 1943 sur le « cadavre » de l'étoile ont confirmé qu'il s'agissait bien d'une supernova ayant explosé à quelque 20 000 années-lumière de nous ! Depuis, aucune autre supernova galactique n'a pu être observée bien que deux d'entre elles explosent en moyenne chaque siècle dans la Voie lactée.

« *Seule une petite partie demeure observable en raison de notre position périphérique dans la galaxie et des nuages de gaz qui voilent les régions internes* », précise Nicolas Prantzos, de l'Institut d'astrophysique de Paris. D'où leur grande rareté.

AKG IMAGES

Dans « De Stella Nova », paru en 1606, Johannes Kepler relate son observation, en 1604, d'une supernova visible à l'œil nu.

Eta Carinae a déjà connu en 1843 une quasi-supernova, donnant naissance à un nuage bipolaire de poussière et de gaz (ici vue dans l'ultraviolet par le télescope spatial Hubble).

PROSPECTIVE

Les autres candidates pour le grand spectacle céleste

Même si les chances restent minces, d'autres étoiles pourraient exploser dans les décennies qui viennent et susciter dans le ciel un magnifique spectacle. En premier lieu Antarès, l'astre le plus brillant de la constellation du Scorpion à 550 années-lumière de nous et qui est, comme Bételgeuse, une supergéante rouge en fin de vie. Ou encore la supergéante rouge VY Canis Majoris qui, avec son diamètre 1500 fois supérieur au Soleil, est effectivement l'une des plus grosses étoiles de la galaxie à 3900 années-lumière. Ou encore Eta Carinae, à 7500 années-lumière. *« Cet astre a déjà produit en 1843 une éruption colossale, une quasi-supernova »*, explique Pierre Kervella, de l'observatoire de Paris. L'explosion ne l'a pas détruite mais a engendré autour d'elle un splendide nuage bipolaire : la nébuleuse de l'Homoncule.

SCIENCE PHOTO LIBRARY

ment par Thavisha Dharmawardena et ses collègues de l'Institut Max-Planck d'astronomie, en Allemagne. Ils ont montré, en juin, que les observations dans les longueurs d'onde submillimétriques correspondaient à un refroidissement de plusieurs centaines de degrés sur plus de la moitié de l'étoile. L'assombrissement pourrait ainsi résulter d'un amas de « taches » froides — de même nature que celles qui maculent parfois le Soleil — mais sur des dizaines de millions de kilomètres chacune ! Elles proviendraient d'instabilités exceptionnelles et de gigantesques « cellules de convection » comme celles qu'on observe dans une casserole d'eau bouillante contenant des pâtes : elles remontent puis refroidissent en surface avant de replonger.

Les résultats publiés en août par Andrea Dupree, du Centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian (États-Unis), plaident pourtant pour une autre explication. Après avoir analysé des mesures du télescope spatial Hubble, dans la gamme des ultraviolets cette fois, son équipe estime que Bételgeuse aurait expulsé une quantité phénoménale de matière, des dizaines de millions de fois plus que ce qu'éjectent les plus violentes éruptions du Soleil ! Projetée en direction de la Terre, cette bouffée se serait refroidie et condensée dans un immense nuage de poussières, voilant l'astre pendant plusieurs mois. *(Voir illustrations p. 43.) « Il est encore trop tôt pour conclure, d'autant que les observations se poursuivent »*, prévient Xavier Haubois.

Ces deux explications ne sont cependant pas incompatibles. *« L'apparition de taches froides a très bien pu suivre l'éjection d'une bouffée de gaz et favoriser sa condensation en poussières »*, avance ainsi Miguel Montargès, qui promet d'ici à la fin de l'année des *« résultats majeurs sur la perte de masse des étoiles supergéantes »*. Car, au-delà de la possible explosion de Bételgeuse, l'enjeu est d'élucider les mécanismes qui permettent à ces « usines à éléments lourds » de disperser dans l'Univers le carbone ou l'oxygène qu'elles produisent. *« Les modèles théoriques sont très incomplets, faute de données suffisantes. Mais les convulsions actuelles de Bételgeuse pourraient nous offrir enfin la clé du mystère »*, espère Xavier Haubois. ■

Un labo français va développer ses propres satellites de poche

Le Latmos, spécialisé dans la recherche spatiale, lance son premier nanosatellite pour étudier l'atmosphère terrestre. Une initiative originale pour la recherche française.

Dans la halle spatiale du Latmos à Guyancourt (Yvelines), des techniciens s'affairent autour de la cuve à vide de 3000 litres, où sont reproduites les conditions extrêmes qui règnent en orbite terrestre. Par le hublot, on aperçoit le satellite soumis à des écarts de température de -80 °C à 80 °C : l'engin, à peine plus gros qu'un Rubik's Cube, ressemble à un jouet ! Il s'agit en fait d'un « cubesat », un standard de nanosatellites développé dès 1999 par l'Université polytechnique de Californie et à l'université Stanford (États-Unis). Cet engin de 10 cm de côté baptisé UVSQ-SAT est un véritable bijou technologique de moins de deux kilos. Les processus de miniaturisations extrêmes permettent d'y intégrer un ordinateur de bord et tous les systèmes de contrôle d'altitude ou de production d'énergie grâce aux cellules solaires qui couvrent ses faces. Quatre antennes lui permettront de communiquer avec la station au sol fonctionnant en bande UHF/VHF installée à l'observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. La réception des données et des télémesures s'appuiera aussi sur la communauté des radioamateurs. Enfin, un centre de contrôle a été installé au dernier étage du Latmos (Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales), dans lequel des étudiants de l'université de Versailles et de Paris-Saclay réalisent les derniers réglages des instruments nécessaires à la gestion opérationnelle du nanosatellite. En cette fin de septembre, UVSQ-SAT subit les ultimes tests avant son départ pour la base spatiale américaine de Vandenberg en octobre et son lancement prévu en décembre à bord du Falcon 9 de SpaceX. Une fois posté en orbite basse, à 600 km d'altitude, il mesurera pendant au moins un an le bilan radiatif de la Terre. Ses 12 capteurs infrarouges et ultraviolets et ses quatre photodiodes surveilleront ainsi le rayonnement solaire UV entrant et le flux infrarouge émis par la Terre. Il mesurera également l'éclairement dans « le continuum de Herzberg », une portion du spectre d'absorption dans le domaine ultraviolet de l'oxygène moléculaire.

Le cubesat UVSQ-SAT encours de mise au point au Latmos, à Guyancourt (Yvelines), ne mesure que 10 cm de côté pour un poids de moins de 2 kg.

Couche d'ozone et changement climatique

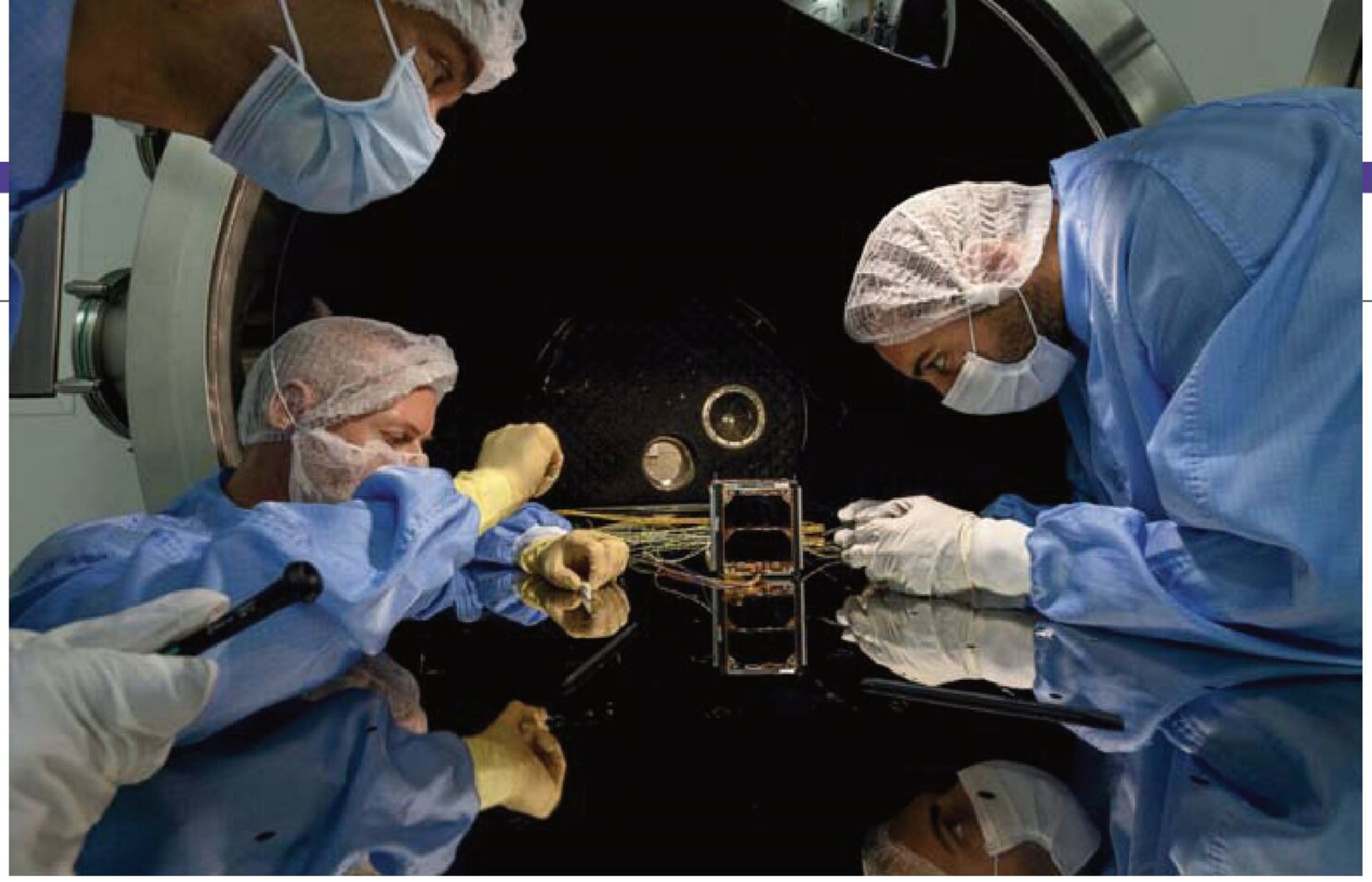
La couche d'ozone (la molécule d'ozone est formée de trois atomes d'oxygène) est un parasol naturel qui absorbe une partie du rayonnement ultraviolet nocif du Soleil. D'elle dépend notamment la température dans la moyenne atmosphère de la Terre, qui peut influencer ensuite la circulation dans la basse atmosphère. Les mesures du nanosatellite permettront de mieux comprendre comment la concentration d'ozone dans la haute atmosphère est modulée par la variabilité solaire et quelles conséquences cela peut avoir sur les phénomènes climatiques et météorologiques.

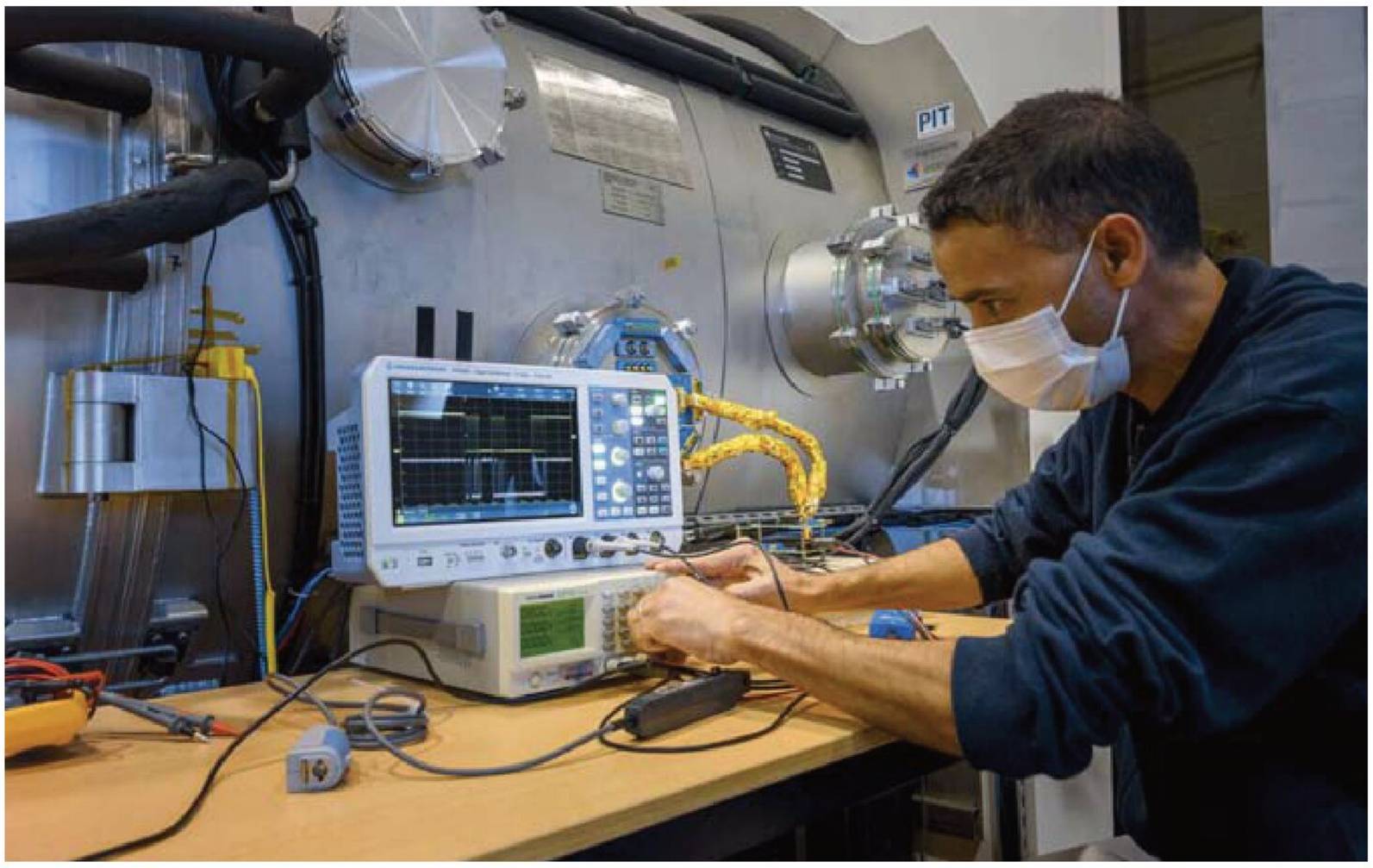
LANCEMENTS

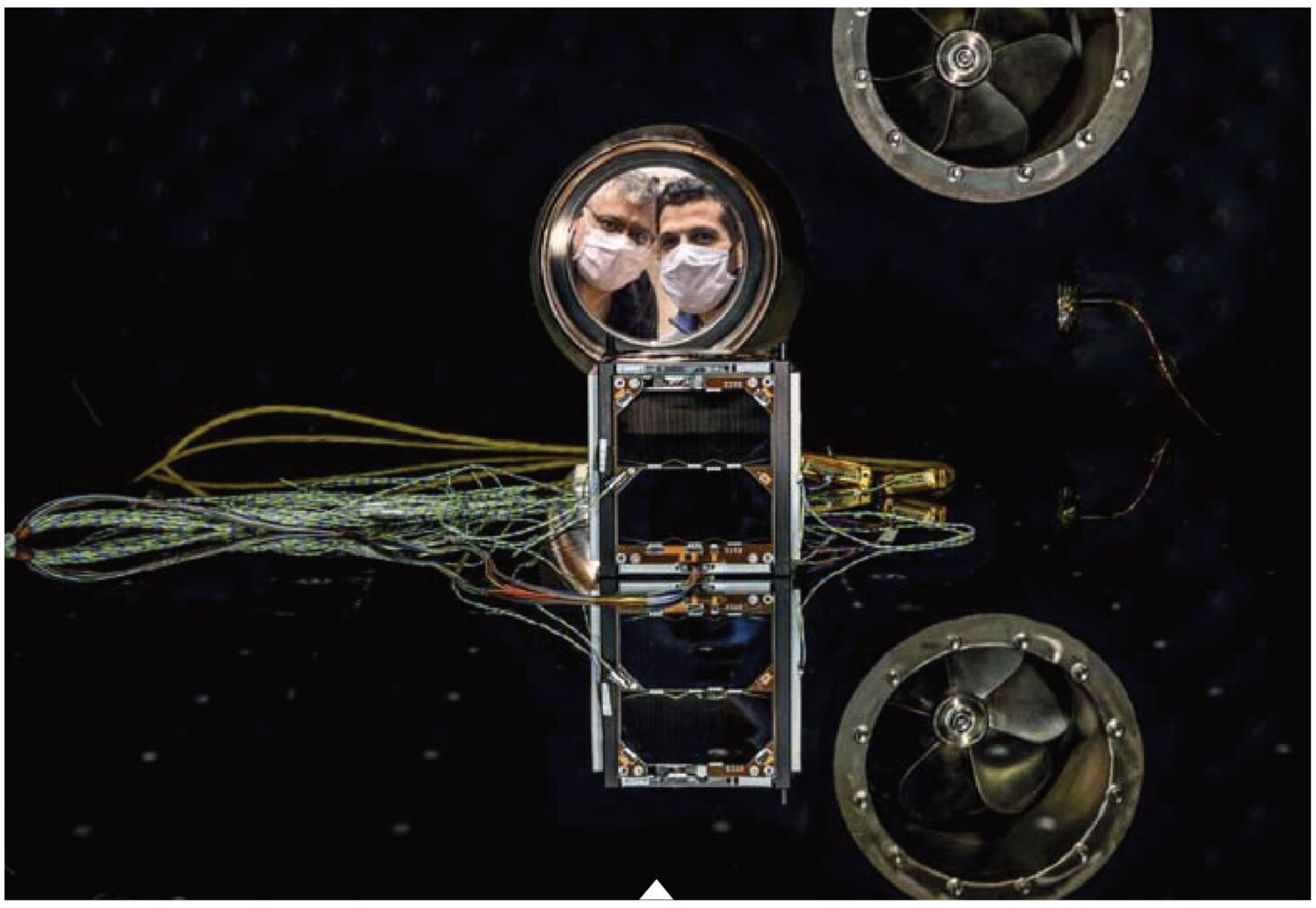
Les nanosatellites, un marché mondial en plein essor

Plus de 2700 nanosats ont été lancés depuis 1998, dont 1302 cubesats, à la date du 4 octobre. Et les prévisions indiquent que le même nombre pourrait être mis en orbite dans les six prochaines années. Les entreprises et les grandes universités américaines à l'origine de cette évolution, représentent plus de la moitié de ces lancements et l'Europe environ un quart. 749 nanosats sont actuellement opérationnels, leur durée de vie excédant rarement un à trois ans. Du fait de leur faible coût, ces engins sont utilisés comme démonstrateurs de technologies risquées.

En mai 2018, les deux cubesats Marco étaient les premiers du genre à quitter l'orbite terrestre, en route vers Mars aux côtés de la mission américaine InSight. Les agences spatiales sont toutefois présentes pour moins de 5 % sur ce créneau. Le Cnes, l'agence spatiale française, jusqu'à il y a peu absente du marché, a mis au point Angels, un « nanosatellite » de 25 kg, qui doit s'intégrer dans la constellation orbitale Argos permettant de localiser les balises marines du même nom et de collecter leurs données.







Des derniers tests sur UVSQ-SAT sont pratiqués en chambre de vide thermique au laboratoire Latmos à Guyancourt (Yvelines), avant l'acheminement du nanosatellite sur la base américaine de Vandenberg, en Californie, d'où il sera lancé en orbite basse en décembre.

UVSQ-SAT est le premier d'une série de nanosatellites que le Latmos va développer. « *Nous avons besoin d'une constellation d'au moins dix satellites en orbite*, précise Philippe Keckhut, chercheur au Latmos et vice-président innovation à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines. *Sur l'orbite héliosynchrone* où sera positionné ce nanosat, le temps de "revisite" d'une région est de 10 jours. Ce n'est pas suffisant ! Donc si nous disposons de dix satellites décalés sur l'orbite, il est possible de faire une mesure du même point tous les jours.* »

Installer durablement un modèle local

Le choix d'utiliser des cubesats répond à la nécessité de construire des projets compatibles avec les durées de carrière des chercheurs. « *À une période où le climat s'emballe, les missions spatiales classiques ne sont pas suffisantes*, souligne Philippe Keckhut. *Leur durée de développement est d'en moyenne trente ans contre trois ans pour notre nanosat.* » Paradoxalement, la pandémie de Covid-19 a eu un retentissement positif sur la mise au point de celui-ci. Pour éviter les quarantaines imposées à l'étranger, le laboratoire a dû faire appel aux industriels français, eux-mêmes rendus plus disponibles par la pandémie. « *Nous voulons maintenant installer durablement un modèle local pour avoir une meilleure maîtrise de la production et accompagner la démocratisation de l'accès à l'espace* », souligne Mustapha Meftah, principal investigateur d'UVSQ-SAT.

Plus rapides à fabriquer — la conception d'UVSQ-SAT a été lancée fin 2018 —, les nanosats sont aussi bien moins coûteux que leurs gros « congénères ». Les éléments qui composent les cubesats sont en effet des pièces standards vendues dans le commerce. Les cubesats eux-mêmes sont empilables comme des Lego pour obte-

MUSTAPHA MEFTAH

« Un accès plus rapide à l'espace permettra d'observer les changements en cours »

Mustapha Meftah, chercheur au Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos), principal développeur du nanosatellite UVSQ-SAT

nir des engins de la taille et de la puissance voulue. Le deuxième satellite en cours de construction à Guyancourt, et dont le lancement est prévu pour l'an prochain, sera ainsi composé de deux cubesats, le troisième de trois, etc.

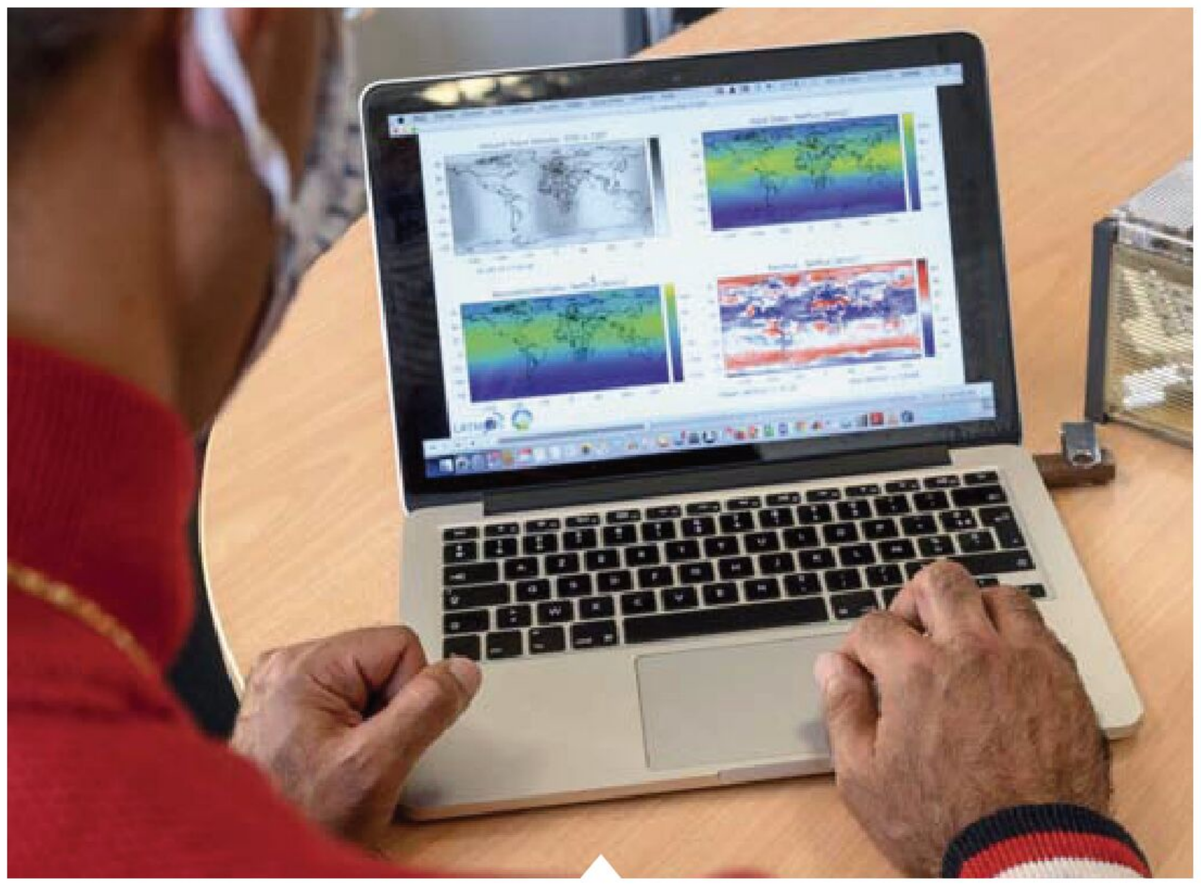
Une mission de démonstration

Les instruments plus spécifiques à chaque mission sont par ailleurs développés et testés dans de nouvelles installations (salles blanches, laboratoire de validation des différents détecteurs) dédiées au développement de cette filière spatiale miniaturisée. Une nano-agence spatiale est née. « *Un accès plus rapide à l'espace nous permettra d'observer les changements en cours*, remarque Mustapha Meftah. *Aujourd'hui, l'observation spatiale de la Terre est surtout pilotée par la météorologie et les questions de surveillance. Les missions liées à l'environnement développées par les grands industriels prennent du temps à être opérationnelles. Il est urgent de pouvoir disposer de moyens d'observation complémentaires de recherche, alors que tous les indicateurs semblent converger vers le chaos.* »

Les chercheurs souhaitent obtenir en moins de dix ans une constellation hétérogène, dont chaque élément comptera au minimum des capteurs d'UV et d'infrarouge, peu à peu complétés par d'autres instruments de mesure. « *Il y a des mécanismes d'amplification du changement climatique que l'on ne connaît pas, mais dont on constate les effets. Nous avons besoin d'imaginer des mesures supplémentaires pour corriger les modèles et faire des prévisions* », précise Philippe Keckhut. Les flux de données seront traités grâce à l'intelligence artificielle et au *deep learning* afin d'obtenir toutes les 3 heures une carte du bilan radiatif avec une résolution spatiale de quelques kilomètres. Cela permettra en outre d'étudier le climat régional qui dépend beaucoup des aérosols et nuages qui varient rapidement spatialement et temporellement. UVSQ-SAT emportera avec lui un « passager » commercial, un détecteur permettant de connaître à distance les positions du corps d'un malade et de prévenir ses douleurs grâce à un vêtement connecté (Teach-Wear). Développé par la Société Carta-Rouxel, ce capteur pourrait être utile pour le suivi à distance des astronautes. UVSQ-SAT lui servira donc de premier laboratoire de vol. Ce capteur servira du même coup à vérifier la position du nanosatellite. « *Chaque nouveau satellite emportera avec lui un instrument supplémentaire développé par des industriels qui ont également besoin de les tester dans l'espace, moyennant une contribution financière* », explique Philippe Keckhut. Soit un atout de financement essentiel : le prix du premier nanosatellite est de 2,5 millions d'euros, dont 100 000 pour le lancement. « *Ce satellite est une première étape de démonstration*, souligne Philippe Keckhut. *Nous n'aurons gagné notre pari des nanosats que lorsque la communauté scientifique se jettera sur les données produites.* » ■ **Sylvie Rouat**

@srouat1

Photos : Christophe Lepetit pour Sciences et Avenir-La Recherche



Simulation des cartes de bilan radiatif de la Terre que le nanosatellite UVSQ-SAT devrait fournir toutes les 3 heures avec l'aide de l'intelligence artificielle.

*Un satellite en orbite héliosynchrone conserve une position fixe dans l'espace par rapport à la direction du Soleil.

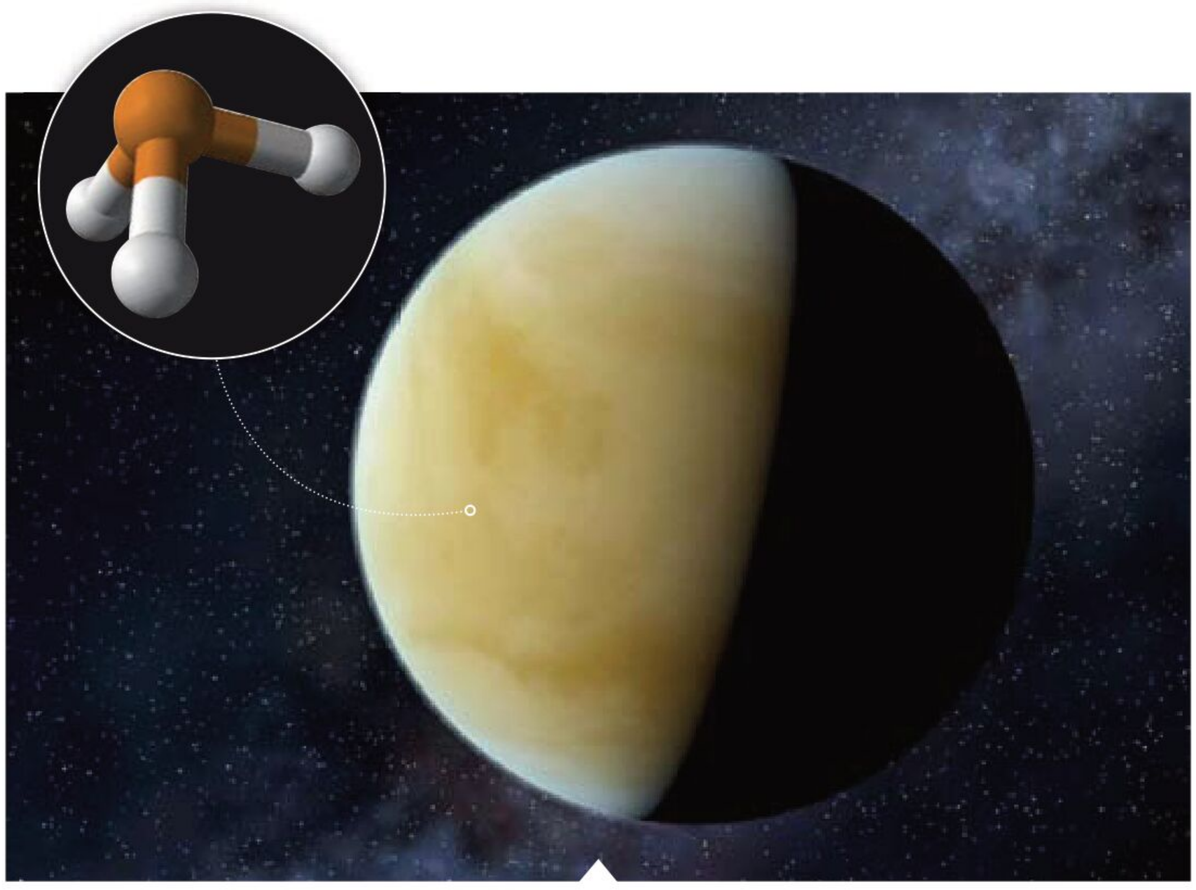
ENSEIGNEMENT

Une filière spatiale miniaturisée

Parallèlement à la mise en place d'une nouvelle filière spatiale miniaturisée, les chercheurs du Latmos ont voulu développer un volet enseignement avec l'université de Versailles (Yvelines), qui occupe le deuxième rang mondial au classement de Shanghai sur la thématique climat et atmosphère. Ils ont ainsi ouvert il y a deux ans une licence professionnelle à l'IUT de Mantes-la-Jolie (« mécatronique, robotique, parcours Systèmes intelligents mécatroniques pour l'industrie et le spatial ») afin de former des étudiants aux productions spatiales du Latmos. L'an prochain va également s'ouvrir un master « New Space » à l'université Paris-Saclay. « *Nous voulons introduire la méthode agile, qui vise à plus de flexibilité, de communication et de collaboration,* explique Mustapha Meftah. *Les cubesats permettent de matérialiser les savoirs. Dans les écoles d'ingénieurs, on a basculé dans la théorie. Il faut revenir à des systèmes plus concrets.* »

A-t-on vraiment découvert des traces de vie sur Vénus ?

La présence d'un gaz rare, la phosphine, dans l'atmosphère de Vénus suscite un enthousiasme planétaire. La prudence est pourtant de mise.



SCIENCE PHOTO LIBRARY - BENJAH-BMM27

L'atmosphère de Vénus, très oxydante, devrait normalement détruire la molécule.

« NOUS AVONS DÉTECTÉ *la présence d'un gaz rare, la phosphine, qui ne devrait pas être présent dans l'atmosphère de Vénus*, a annoncé Jane Greaves, radioastronome à l'université de Cardiff (Royaume-Uni) lors l'une conférence de presse organisée le 14 septembre. *Il est possible que nous ayons trouvé les traces de microorganismes vivant dans les nuages de cette planète.* » Une annonce fracassante... aussitôt relayée par les médias du monde entier. Composée d'un atome de phosphore et trois d'hydrogène, la phosphine n'est effectivement synthétisée, sur Terre, que par certains microorganismes vivant par exemple dans des rizières ou par des processus industriels, pour fabriquer des pesticides notamment. Mais sur Vénus, cette molécule devrait être rapidement détruite par l'atmosphère très oxydante de la planète. D'où la possibilité, défendue par les chercheurs britanniques, qu'elle ait été produite par une forme de vie extraterrestre.

Un scénario hautement spéculatif, rétorquent la plupart des experts. Il est beaucoup plus plausible, en effet, qu'un mécanisme non biologique encore inconnu produise de la phosphine dans les nuages de Vénus. Les données spectrales sur lesquelles se fonde l'équipe de Jane Greaves (issues des radiotélescopes James Clerck Maxwell, à Hawaii, et Alma au Chili) sont de plus considérées comme ambiguës et insuffisamment convaincantes. Aussi d'autres mesures devront-elles donc être réalisées pour confirmer la présence même de phosphine dans l'atmosphère vénusienne. ■

Franck Daninos
@fdaninos

▸ « TASK FORCE »

Dès le 15 septembre, l'organisation Breakthrough Initiatives, fondée par le milliardaire russo-israélien Yuri Milner, a annoncé qu'elle avait formé une *task force* (groupe de travail) constituée de chercheurs. L'objectif ? Comprendre quelle forme de vie pourrait exister dans l'atmosphère de Vénus.

▸ PLANÈTES GÉANTES

La présence de phosphine a été détectée dès les années 1970 dans les atmosphères très turbulentes de Jupiter et Saturne.
Mais dans ces cas-là, les mécanismes de formation sont bien compris.

▸ MÉTHANE MARTIEN

La controverse phosphine en rappelle déjà une autre : celle déclenchée en 2004 par la détection de méthane dans l'atmosphère de Mars, un gaz considéré lui aussi comme une possible « biosignature ».
Or les mesures réalisées depuis 15 ans sur la planète Rouge sont restées équivoques.

INTERVIEW

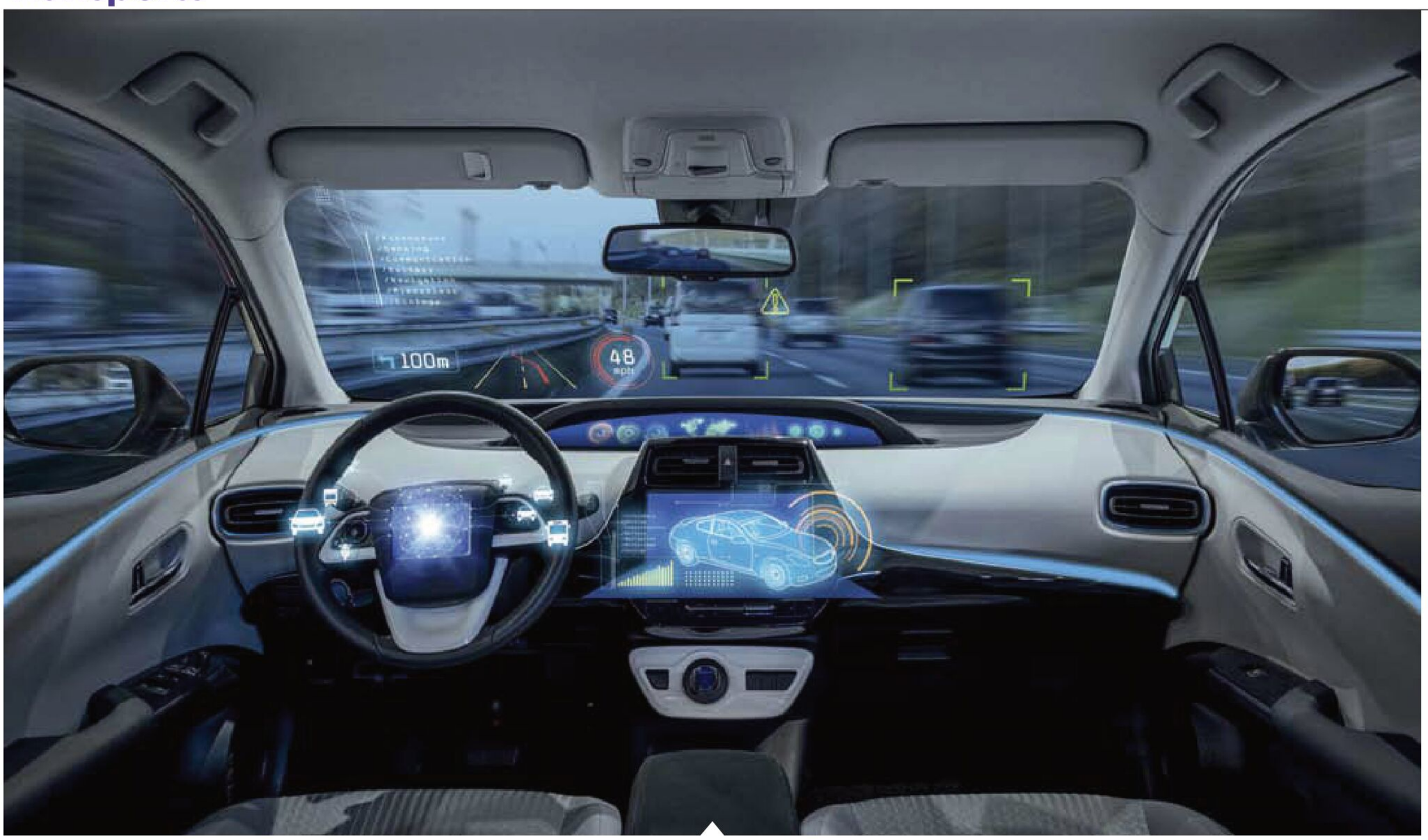
HERVÉ COTTIN,
PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'EXOBIOLOGIE

« ON NE PEUT PAS CONSIDÉRER UN UNIQUE INDICE COMME UNE "BIOSIGNATURE" »

« Qu'il y ait des phénomènes inconnus sur Vénus, c'est une évidence. Que l'on ne puisse pas expliquer la présence de tel ou tel composé — dans le cas présent la phosphine — aussi. Mais conclure qu'il s'agit d'un signe de vie est très exagéré. On dirait que les chercheurs de l'université de Cardiff (Royaume-Uni) à l'origine de cette annonce ont voulu "faire le *buzz*". S'il est normal de publier une telle découverte, ils auraient dû la livrer à la communauté scientifique sans communiqué de presse et sans mettre autant en avant les aspects "signes de vie". On ne peut pas, du reste, considérer un unique indice comme une "biosignature", laquelle doit être suffisamment significative pour constituer une preuve. Pour affirmer la présence d'une forme de vie, il faut étudier un ensemble de faisceaux et d'indicateurs pris dans un contexte. »

UNIVERSITÉ PARIS-EST CRÉTEIL

Propos recueillis par Joël Ignasse



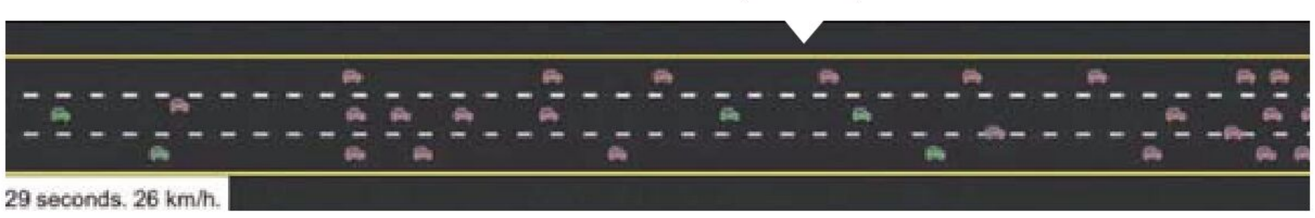
SHUTTERSTOCK

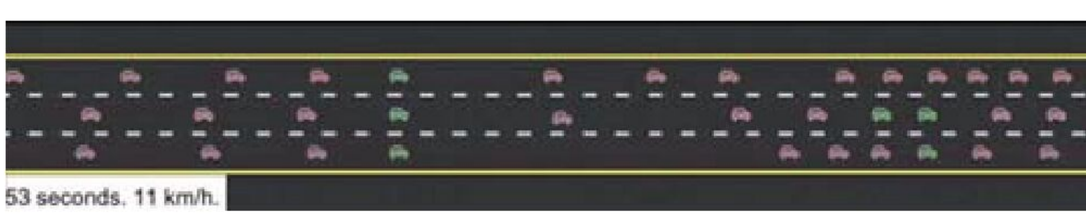
Plus de sécurité et moins d'embouteillages : c'est ce qu'est censé apporter un véhicule sans chauffeur. Mais beaucoup reste à faire pour y parvenir.

Les voitures autonomes et le casse-tête de la fluidité du trafic

Les véhicules sans chauffeur ne soulèvent pas que des défis techniques et informatiques. Leurs effets sur les conditions de circulation nourrissent recherches et simulations poussées.

SUR L'AUTOROUTE À TROIS VOIES, la circulation est dense. Certains véhicules se livrent à un périlleux gymkhana pour passer d'une file à l'autre, d'autres enchaînent les accélérations-décélérations, le tout finissant par créer ce phénomène d'accordéon si caractéristique des routes surchargées. Cependant peu à peu, des voitures forment un bloc sur toute la largeur de la chaussée, aucune n'étant plus en capacité d'opérer un dépassement. Pourtant, l'embouteillage attendu ne se produit pas. La vitesse se maintient, régulière, et à un premier peloton de véhicules en succède un autre, puis encore un autre. Ils sont assez espacés pour que la fluidité du trafic n'en pâtisse pas, chaque voiture parvenant à suivre son parcours sans être contrainte de freiner, voire de s'arrêter. Ce phénomène étonnant a une explication : l'irruption dans le trafic de quelques

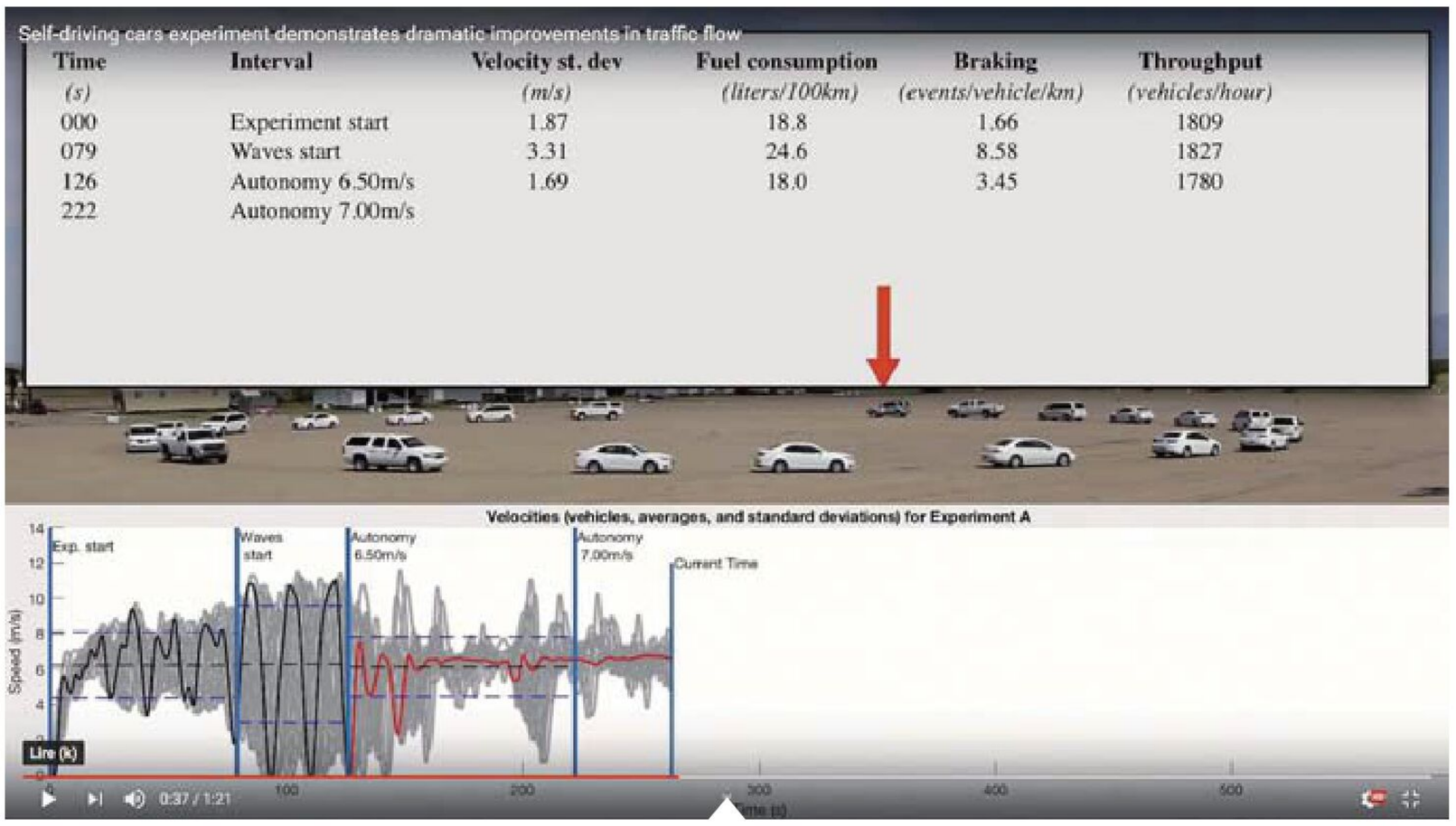




Cette simulation réalisée à l'université Bar-Ilan (Israël) montre comment la présence de quelques voitures automatisée (en vert) peut améliorer le trafic en regroupant les véhicules en « constellations » (à droite).

voitures autonomes, au milieu des véhicules conventionnels.

Ce scénario n'appartient pas encore au quotidien des automobilistes. Il s'agit d'une simulation numérique due à deux chercheurs de la faculté de physique de l'université Bar-Ilan (Israël). Pour ce faire, Amir Goldental et Ido Kanter sont partis du constat que les systèmes de pilotage actuels des voitures automatisées — appellation préférée par les chercheurs à celle d'autonomes — ont été conçus avec un seul objectif : optimiser leurs choix de conduite dans le respect de la réglementation routière et des exigences de sécurité édictées par les pays dans lesquels elles circulent. Aucun système actuel ne tient compte de la volonté d'améliorer globalement le trafic routier. Autrement dit : chaque voiture autonome ne roule, à tous les sens du terme, que pour elle-même.



UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN

Une seule voiture autonome (flèche) a suffi à supprimer l'« effet accordéon » (expérience faite dans l'Illinois).

Le trafic gagne rapidement en vitesse

Dans leur simulation, qui utilise de véritables algorithmes de conduite sur 5 km de route virtuelle, les chercheurs israéliens ont eu l'idée d'édicter une nouvelle règle : lorsque les véhicules automatisés se repèrent mutuellement, à l'aide de leurs capteurs habituels (caméras, radars, lidars), tous vont faire en sorte de se positionner côte à côte, chacun sur une voie. De cette façon, ils forment une ligne qui vise à bloquer les autres voitures derrière eux, comme une barrière indépassable. Si d'autres voitures automatisées arrivent, elles reproduisent à leur tour la manœuvre. Se créent ainsi ce que les chercheurs appellent des « constellations », espacées par une distance de sécurité. Résultat : les ralentissements disparaissent, tout comme la conduite par à-coups et la fluidité générale devient optimale. Inutile pour les voitures autonomes de communiquer entre elles. Le simple fait qu'elles se détectent suffit à déclencher le processus. Et ce, en moins de deux minutes. Mieux : après deux minutes trente, l'ensemble du trafic gagne en vitesse ! Les chercheurs ont obtenu ces résultats en menant des tests avec seulement 1 à 10 % de voitures autonomes et ont même expérimenté l'irruption d'un court rétrécissement de la chaussée. Les constellations et la fluidité du trafic n'en ont pas été affectées. Certes, il ne s'agit là que d'une « démonstration de faisabilité », sans les aléas et la complexité des conditions réelles. Mais cette simulation en appelle d'autres. Car l'arrivée, au plus tôt vers 2030, des voitures sans chauffeur suscite déjà de nombreux questionnements tant, comme l'écrivent les chercheurs de Bar-Ilan, « *les règles en matière de transport dans un contexte hybride* [véhicules autonomes et traditionnels mêlés] *et ses possibles impacts sur la circulation ne sont pas claires* ».

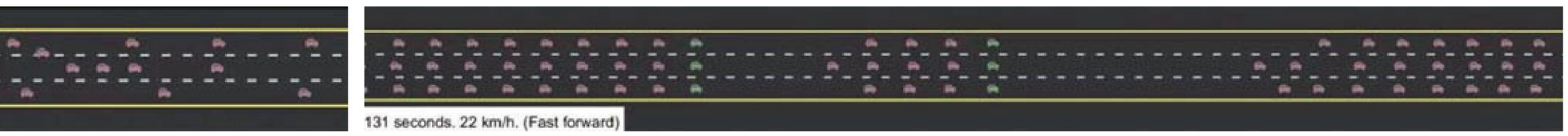
BAR-ILAN UNIVERSITY

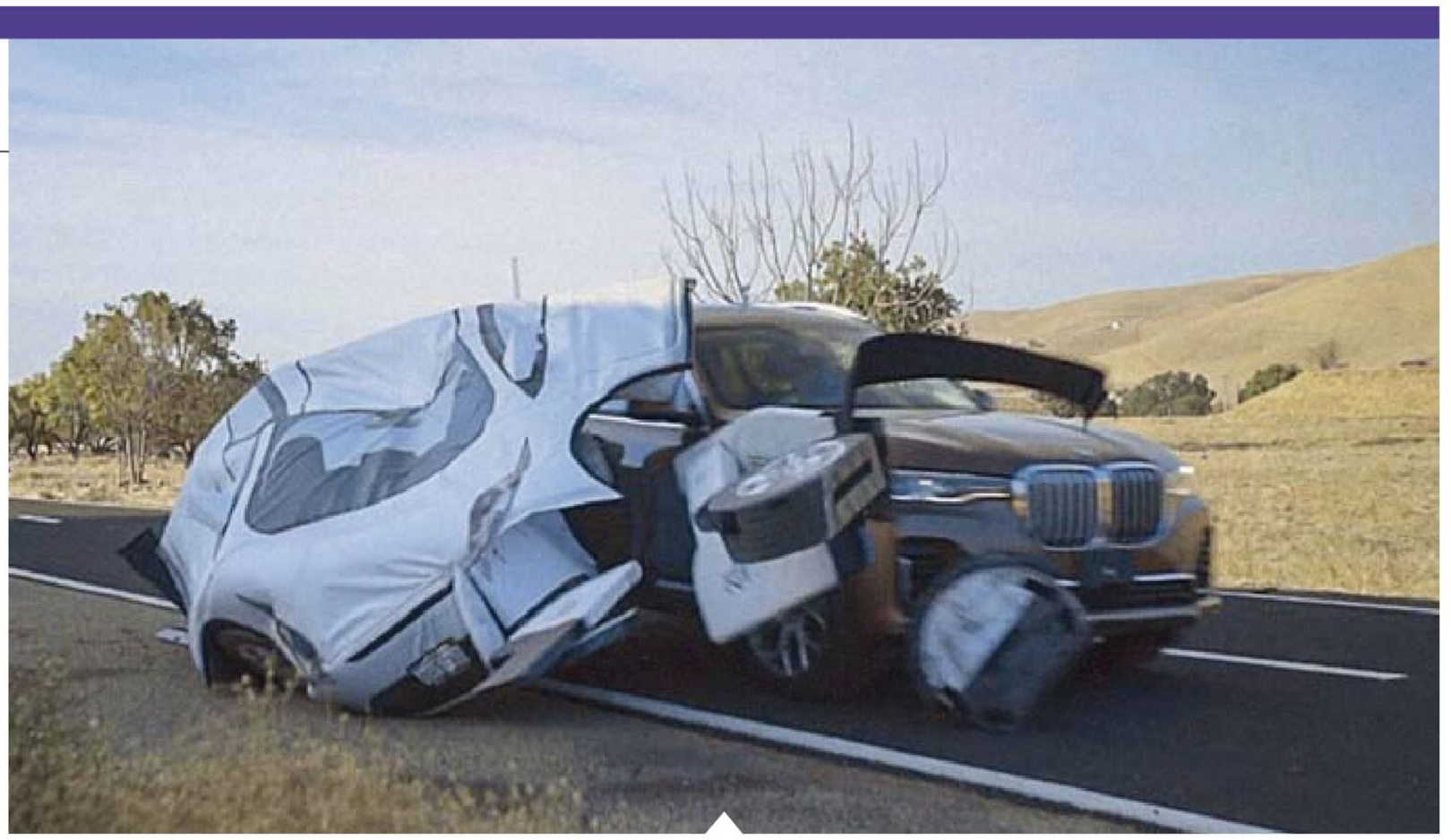
LE + NUMÉRIQUE

- Le programme R5G de l'université Gustave-Eiffel : **sciav.fr/885RG5**
- Le projet SAM soutenu par l'État (page 5 du document) : **sciav.fr/885SAM**
- Les voitures autonomes génèrent des « constellations » : **sciav.fr/885constellations**

Des infrastructures routières inadaptées

Car si pour ses promoteurs, le véhicule autonome est synonyme de plus de sécurité sur les routes, de moins d'embouteillages et de plus de confort en voiture, la réalité est loin d'être si limpide. Ainsi, en 2019, un enseignant-chercheur en économie de l'université de Californie à Santa Cruz (États-Unis) a démontré que, selon le prix des parkings payants, il pouvait être plus avantageux financièrement pour un propriétaire de véhicule autonome de ne pas le garer mais plutôt de la laisser tourner en rond à faible vitesse aussi longtemps que nécessaire. D'où des rues... plus encombrées. « *Les* ▶





L'aide à la conduite prise en défaut : dans cette expérience, une auto factice arrêtée sur le bas-côté a été heurtée.

AAA

nouveaux usages vont dégrader un temps les capacités des infrastructures routières qui ne sont pas prévues pour cela. Il va falloir attendre un niveau très fort d'intégration des véhicules autonomes pour que les choses s'améliorent », estime Dominique Gruyer, directeur de recherche à l'université Gustave-Eiffel à Paris. La preuve, en juillet 2019, une expérience grandeur nature de navette autonome dans le quartier d'affaires de la Défense, près de Paris, a été arrêtée après deux ans d'activité. En cause, la difficile interaction avec les nombreux piétons et cyclistes.

Moins de voitures mais des trajets plus longs

Ce volet comportemental est étudié par l'institut Vedecom, à Versailles. Des recherches montrent ainsi que des automobilistes refusent de céder la priorité à un robot ; d'autres pointent l'absence critique de communication non verbale en l'absence de conducteur. « *La peur et l'incompréhension peuvent bloquer complètement le trafic* », résume Stéphanie Cœugnet, directrice R&D Nouvelles Solutions de mobilité et énergies partagées. En outre, si le fait que les véhicules autonomes réduiront la flotte globale est admis par tous, « *toutes les études montrent une augmentation des distances parcourues car libérés de la tâche de conduire, les usagers accepteront de rouler plus longtemps et d'aller travailler plus loin* », explique Jaafar Berrada, chercheur en économie des transports à Vedecom. Autant de trafic en plus. Aussi, l'autopartage et le covoiturage apparaissent comme les éléments clefs d'une baisse du nombre global de véhicules selon Rémy Le Boennec, chargé de recherche en économie de l'environnement à Vedecom. Mais « *les premiers constats révèlent une réticence à partager un tel véhicule car il n'y a plus personne qui soit garant de la sécurité en cas de conflit entre usagers* », explique Stéphanie Cœugnet. Sur tous ces aspects, une étude de cas de la ville australienne d'Adelaide a même abouti à des résultats inquiétants *(lire l'encadré)*. En France, le projet SAM (Sécurité et acceptabilité de la mobilité autonome) lancé avec le soutien de l'État en avril 2019 par un consortium d'industriels et centres de recherche, inclut 13 expérimentations jusqu'à fin 2022. Elles serviront, entre autres, à évaluer l'impact sur les zones concernées et sur les usages. « *Pour l'instant, on voit le véhicule automatisé comme un véhicule reproduisant ce que fait l'humain, que ce soit en termes d'accélération de freinage, de dépassement. Or, l'humain est bien plus adaptable. Il faudra sortir de la simple imitation par la voiture de ce que nous faisons* », assure Dominique Gruyer. Quitte à imaginer de nouvelles règles et signalisations. Réapprendre à conduire, en somme. ■

Arnaud Devillard
@A_Devila

COMPORTEMENTS

Un scénario tendu pour la ville d'Adélaïde

C'est *a priori* paradoxal, mais l'impact des voitures autonomes sur la circulation est très lié… aux comportements humains. Ainsi, en novembre 2017, quatre chercheurs de l'université d'Adélaïde (Australie) ont interrogé 526 « banlieusards » travaillant dans le centre d'affaires de la ville sur leurs choix de transport quand les véhicules autonomes seront la norme, à l'horizon théorique de 2050. Ils ont également collecté les données actuelles de trafic de trois nœuds routiers desservant ce quartier stratégique puis les ont recalculées sur la base des réponses obtenues. Résultat étonnant : « *La flotte automobile se réduit nettement mais les trajets augmentent !* », note Jon Kellett, coauteur de la recherche. Un véhicule autonome peut en effet revenir au domicile de l'usager — et servir à d'autres membres de la famille — avant de repartir le chercher en fin de journée. Ce qui se traduit en outre par un besoin accru de stationnement en banlieue. D'où la piste d'une réglementation favorisant les trajets en autopartage. Les chercheurs estiment en effet qu'avec uniquement des voitures autonomes partagées, le trafic desservant le centre se réduirait à 18 % de ce qu'il est aujourd'hui, pour la même population. Sauf que les personnes interrogées se montrent réticentes à l'autopartage. Seulement 14 % se priveraient d'une voiture personnelle et 61 % se verraient bien avec à la fois leur véhicule classique et un automatisé. Les chercheurs soulèvent la piste d'une réglementation locale favorisant l'autopartage. « *Savoir si cela permettrait de résoudre les problèmes est une question ouverte* », reconnaît Jon Kellett.

La machine surpasse l'humain au curling

Un robot sur roues, entraîné grâce à l'apprentissage par renforcement, optimise la glisse de la pierre.

WON, MÜLLER & LEE

Le robot Curly est assisté par un double qui filme les lancers tests et en communique les données pour corriger les calculs.

DÉJÀ QU'IL N'EST PAS FACILE pour un être humain de se déplacer sur la glace, alors pour un robot... Pourtant, des chercheurs de l'université de Corée, à Séoul, de l'université technique de Berlin et de l'Institut Max Planck (Allemagne) ont réalisé l'exploit de mettre au point Curly, un robot capable de jouer au curling — ce sport olympique consistant à envoyer des pierres de granit de 20 kg au centre d'une cible dessinée sur la glace.

Curly n'a rien d'un humanoïde : pour lui permettre de se mouvoir sur la glace, les scientifiques l'ont monté sur trois roues. Il dispose en outre d'un bras articulé déployant une caméra à un peu plus de deux mètres de hauteur pour filmer la piste et la cible. L'intelligence artificielle (IA) analyse les données pour lancer la pierre. L'algorithme a été auparavant entraîné dans un environnement virtuel reproduisant les données réelles du jeu : dimensions, distances, position de la cible, caractéristiques de la glace et de la pierre, lois physiques, etc.

Mener un tel entraînement en conditions réelles aurait été trop long et fastidieux — et dangereux pour la machine. Les chercheurs ont fait appel à la méthode dite de l'apprentissage par renforcement, c'est-à-dire par une succession d'essais-erreurs.

Mais celle-ci ne suffit pas car la surface de la glace évolue sans cesse en cours de partie, ce qui la rend impossible à modéliser. Aussi la machine est-elle autorisée à faire, comme les humains, des « lancers tests ». Elle lance la pierre une première fois tandis qu'un second Curly filme son point d'arrêt à l'autre bout du terrain et en communique les coordonnées au lanceur. L'IA compare le résultat avec celui prévu initialement. À partir de quoi, elle corrige ses calculs pour les lancers suivants. Curly a affronté ainsi des équipes professionnelles féminines coréennes et l'équipe nationale handisport en fauteuil roulant. Le bilan est sans appel : Curly a gagné trois parties sur quatre. ■

Arnaud Devillard

@A_Devila

AURÉLIEN ALVAREZ

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

Raisonner par l'absurde, vraiment ?

En fin d'école maternelle, les enfants commencent à apprendre à compter et, rapidement, jouent à qui compte le plus loin. En primaire, ils se familiarisent davantage avec les nombres entiers naturels 1, 2, 3... et apprennent à les additionner, à les multiplier, etc. Au passage, ils démontrent ce qui est probablement le premier théorème de leur scolarité : *« Il existe une infinité d'entiers naturels. »* En effet, s'il n'y avait qu'un nombre fini d'entiers naturels, il en existerait un plus grand que tous les autres, appelons-le *n*. Mais alors, en ajoutant 1 à *n*, on en trouverait un autre strictement plus grand, à savoir $m = n + 1$. On aboutit ainsi à une contradiction puisque *n* serait à la fois le plus grand... sans pour autant l'être. Au travers de ce petit raisonnement, nous avons déduit une contradiction de la proposition Q : *« L'ensemble des entiers naturels est fini. »* Autrement dit, nous avons démontré la proposition non-Q : *« L'ensemble des entiers naturels n'est pas fini. »* Plus tard, au lycée, on démontre aux élèves l'irrationalité de la racine carrée de 2. La plupart des démonstrations suivent le schéma suivant : on considère la proposition *« La racine carrée de 2 est un nombre rationnel »* puis on en déduit une contradiction. On pourrait donner d'autres exemples encore pour lesquels on lit souvent qu'il s'agit de raisonnements par l'absurde. Mais ce n'est pas le cas. Car raisonner par l'absurde pour démontrer la proposition P, c'est déduire une contradiction de la proposition non-P, autrement dit c'est démontrer non-non-P. Les raisonnements par l'absurde sont souvent utilisés pour démontrer l'existence abstraite d'objets mathématiques. Mais dans les mathématiques élémentaires, on peut souvent s'en passer en formulant convenablement les énoncés et leurs démonstrations. ■

> « Dans les mathématiques élémentaires, on peut souvent s'en passer en formulant convenablement les énoncés et leurs démonstrations »

* Professeur à l'ENS de Lyon

Le grand inventaire des abysses

Un vaste recensement de la vie marine des profondeurs va mesurer l'impact des activités humaines dans les grands fonds, jusque-là préservés. Le programme « Pourquoi pas les abysses » met en œuvre des technique innovantes.

Par Sylvie Rouat @srouat1 **Photos Gilles Martin/Ifremer**

La mission AMIGO2018, qui a participé au programme d'inventaire des grands fonds, s'est déroulée à bord du navire océanographique « Pourquoi-pas ? ».

Ce « nereididae » (vu au microscope électronique à balayage) est un ver marin carnassier, pourvu d'une touffe de cils sensoriels au sommet de la tête. Il a été prélevé aux abords de sources hydrothermales.

Le 20 octobre, l'Autorité internationale des fonds marins, basée en Jamaïque, a reçu l'ensemble des textes qui composeront le « code minier relatif à l'exploration et à l'exploitation des nodules polymétalliques dans les zones de fonds marins », qui posent les conditions de la valorisation économique des grands fonds océaniques de la planète. Ce règlement, en chantier depuis 1998, est stratégique tant ces lieux encore méconnus apparaissent désormais comme un nouvel eldorado pour de très nombreux États et entreprises qui pourraient démarrer une activité d'extraction des minéraux précieux qu'ils recèlent dès 2025. En particulier celle des nodules polymétalliques, des concrétions riches en cuivre, cobalt et nickel, autant de matériaux essentiels à la fabrication d'équipements high-tech (smartphones, éoliennes...). Les convoitises sont telles qu'en mai, les ONG Deep Sea Mining Campaign et MiningWatch ont publié un rapport alarmant fondé sur une revue de 250 articles scientifiques et autres rapports. Celui-ci conclut *« que les impacts de l'extraction des nodules dans l'océan Pacifique seraient considérables, graves et dureraient des généra-*

Ce « polynoidae » est un ver prédateur couvert d'écailles et doté d'organes préhensiles.

Ver des grands fonds, cet « ampharetidae » porte la nourriture à sa bouche avec ses tentacules.

tions, causant des dommages irréversibles... ». Or les écosystèmes situés à plusieurs milliers de mètres de profondeur dans les plaines abyssales sont à ce jour restés vierges d'exploration à plus de 95 %. Pour les scientifiques, il y a donc urgence ! « *Nous voulons dresser un inventaire des espèces présentes dans les abysses, dont une grande partie nous est encore inconnue*, explique Sophie Arnaud-Haond, chercheuse au Laboratoire halieutique Méditerranée de l'Ifremer, à Sète (Hérault). *D'autant que si les océans représentent plus de deux tiers de la planète, les abysses en occupent plus de la moitié !* » C'est précisément ce défi que relève la mission française Pourquoi pas les abysses ? qui œuvre depuis trois ans à l'inventaire de la biodiversité des grands fonds. Un tour du monde en 80 sites explorés ▸

CONTEXTE

La ruée sur les minéraux des profondeurs se précise. Les ressources sous-marines représenteraient environ la moitié des réserves terrestres actuelles de cuivre et dix fois plus pour le manganèse et le cobalt ! Ces minéraux sont massivement utilisés dans les batteries et les réseaux électriques. Déjà, 30 contrats d'exploration des ressources minérales des grands fonds couvrant environ 1,5 million de km² ont été délivrés par l'Autorité internationale des fonds marins à 21 entités tant privées que publiques. La France elle-même en détient deux dans la région, de Clipperton, dans le Pacifique Sud.

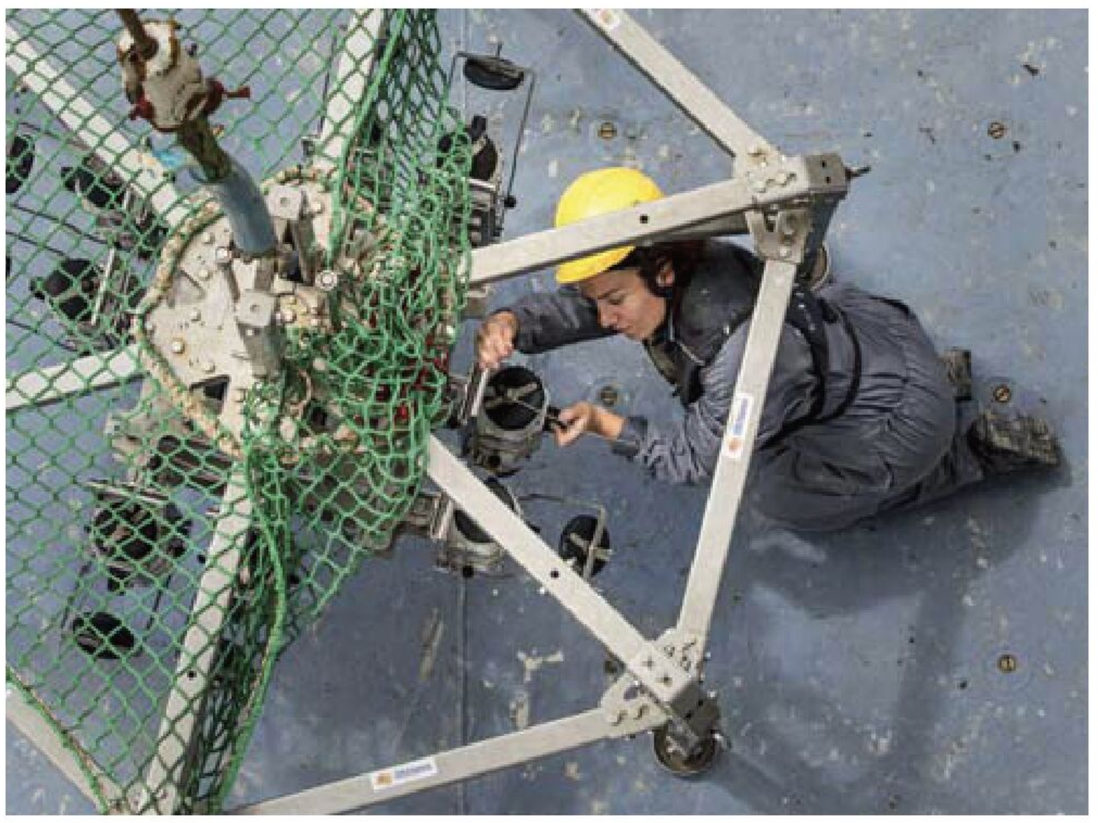
Les nématodes, polychètes, ostracodes, copépodes et kinorhynches qui composent la petite faune abyssale mesurent entre 1 et 3 millimètres (ici vus au microscope optique).

pour la première fois grâce à la technique de prélèvement d'ADN environnemental, parfois à plus de 10 000 mètres de profondeur.

Mille ans de travail avec les méthodes ordinaires

Atteindre un tel objectif était, il y a peu encore, un enjeu impossible à mener à l'échelle d'une seule génération. Si l'on estime que 60 à 80 % de la biodiversité terrestre peuplent les océans, il faudrait en effet mille ans pour l'inventorier avec des méthodes ordinaires ! *« Le prélèvement d'ADN environnemental nous permet désormais d'extraire de l'air ou de l'eau des brins d'ADN de spécimens présents au moment du prélèvement ou étant passés par là et ayant laissé derrière eux des fèces, du mucus, des écailles... »*, indique Sophie Arnaud-Haond. Quelque 50 chercheurs ont ainsi prélevé par sondes près de 3000 échantillons d'eau et de sédiments à de très grandes profondeurs. Une première, cette technique n'étant jusque-là utilisée que jusqu'à quelques centaines de mètres. Ces sondes ciblent de petites portions d'ADN spécifiques — appelées barcodes — qui constituent en quelque sorte les cartes d'identité des lignées présentes dans les échantillons. Autrement dit des lignées d'organismes abyssaux extrêmes, adaptés à l'obscurité totale, aux fortes pressions, à la quasi-absence d'oxygène et de nourriture, capables de vivre à des températures variant de 2 °C dans les plaines abyssales à 400 °C près des sources hydrothermales.

Le projet Pourquoi pas les abysses ? s'est concentré sur la méiofaune (des micro-organismes benthiques de 1 à 3 mm) et la macrofaune tels que crustacés, mollusques, vers, étoiles de mer, oursins, etc. *« Nous avons pu identifierdes groupes appartenant à de*



Une opération de carottage à bord du « Pourquoi-pas ? ». Une fois remontés, les tubes sont démontés du carottier afin d'en extraire les échantillons de sédiments qui seront ensuite analysés (la biologiste Daniela Zeppilli dans le laboratoire du bord, en bas à droite).

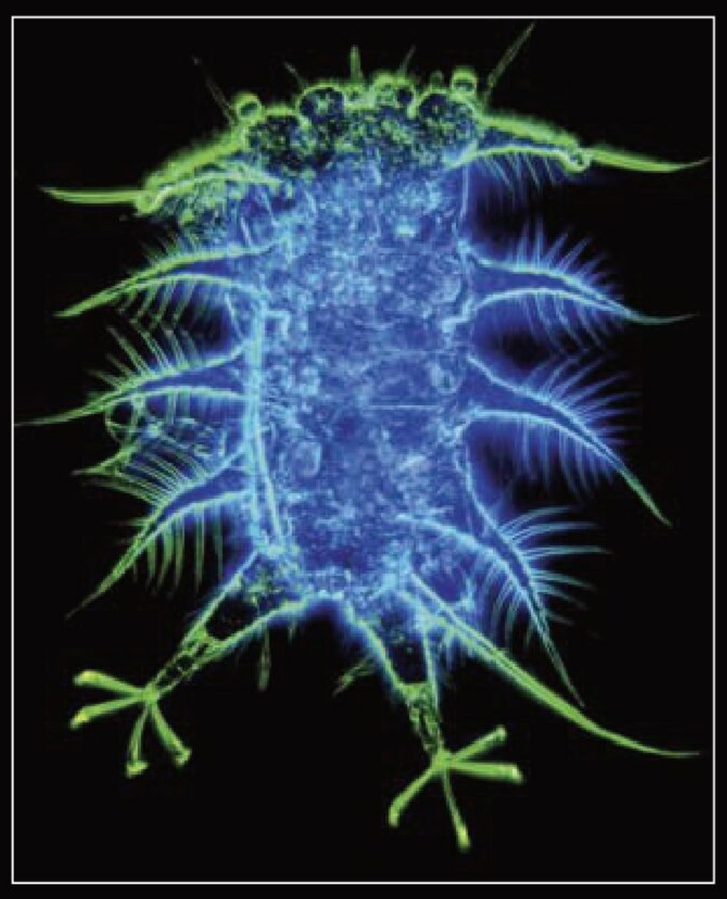
des lignées. En revanche, cette technique ne permet pas de discriminer toutes les espèces, poursuit Sophie Arnaud-Haond. *Il nous faut maintenant mettre au point une méthode moléculaire pour descendre au niveau des genres, si ce n'est des espèces.* » Une seule année d'analyses sur des échantillons d'herbiers spécifiques des côtes françaises a cependant permis d'identifier plus de 1000 unités taxonomiques opérationnelles, une unité qui permet de regrouper des individus phylogénétiquement proches, là où un suivi de dix ans n'avait recensé que 320 espèces.

Les scientifiques de la mission se sont aussi intéressés aux sources hydrothermales, ces incroyables oasis de vie qui s'épanouissent sans lumière dans les grands fonds. Ces évents de fluides chauds produisent aussi d'épais dépôts de minéraux parmi lesquels l'or, l'argent, de cadmium, de plomb, le cobalt ou le nickel. Soit autant d'objets de convoitise pour l'industrie minière. Pour analyser ce substrat dur impossible à « carotter », les chercheurs ont mis au point un robot préleveur capable de décoller des communautés de moules, hôtes de nombreuses autres espèces, tandis que les échantillons d'eau livraient leurs lots de larves et de cellules. « *Sur ce substrat, il y a des espèces de*

SOPHIE ARNAUD-HAOND

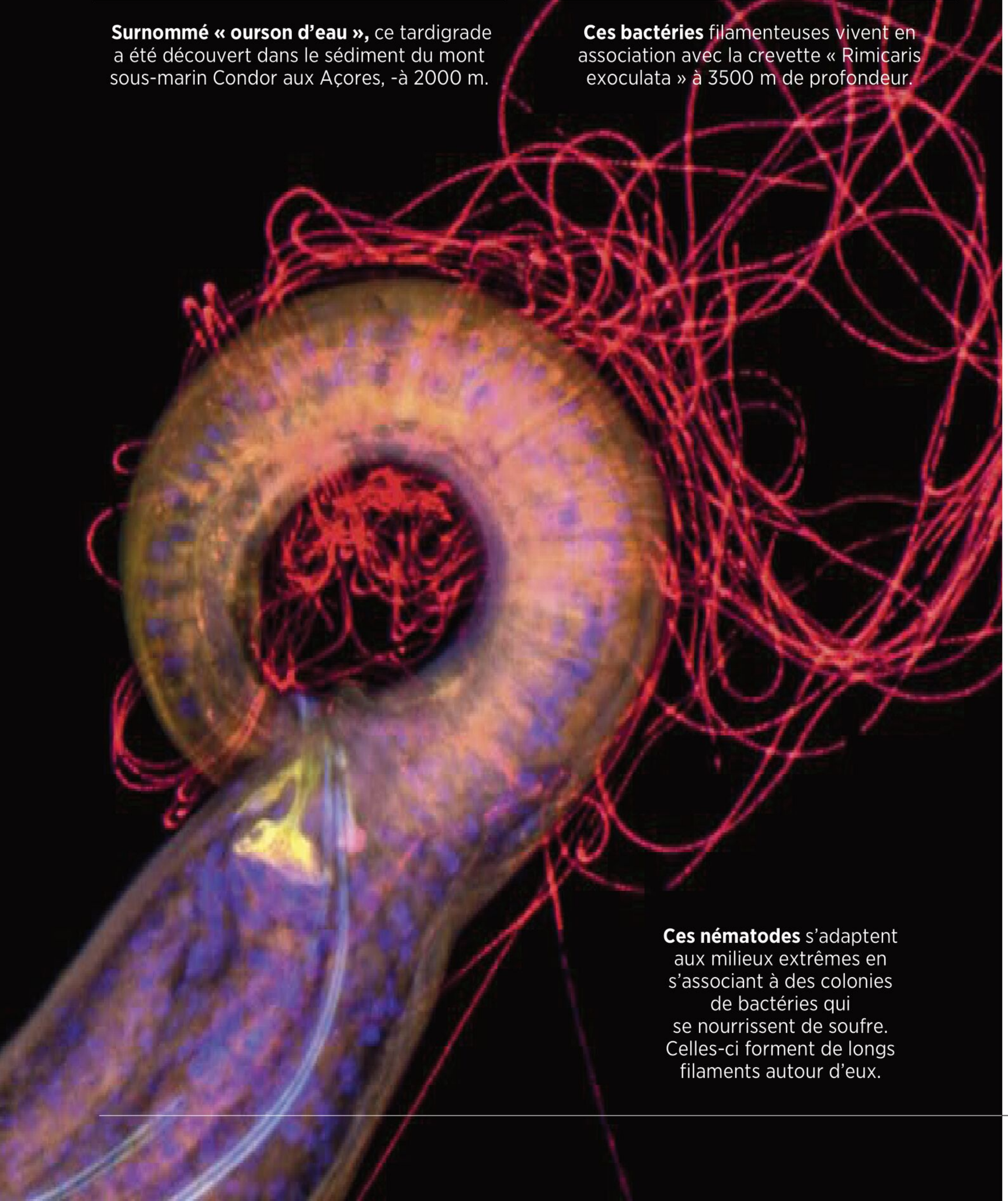
« Nous avons déjà pu identifier des groupes appartenant à de grandes lignées »

Sophie Arnaud-Haond, chercheuse au Laboratoire halieutique Méditerranée de l'Ifremer, à Sète (Hérault)



Surnommé « ourson d'eau », ce tardigrade a été découvert dans le sédiment du mont sous-marin Condor aux Açores, -à 2000 m.

Ces bactéries filamenteuses vivent en association avec la crevette « Rimicaris exoculata » à 3500 m de profondeur.



Ces nématodes s'adaptent aux milieux extrêmes en s'associant à des colonies de bactéries qui se nourrissent de soufre. Celles-ci forment de longs filaments autour d'eux.

tailles variables, d'énormes à microscopiques, note Florence Pradillon, chercheuse en écologie benthique au centre Ifremer de Plouzané (Finistère), et porteuse scientifique du projet Pourquoi pas les abysses ? avec Sophie Arnaud-Haond. *Les premières laissent plus de cellules dans l'eau, ce qui peut donner l'impression qu'elles dominent la biodiversité du site.* »

Une nouvelle méthode d'exploration

Ces trois premières années ont ainsi permis de mettre au point une nouvelle méthode d'exploration de la biodiversité et de créer des librairies moléculaires. Cette approche est toutefois plus difficile à interpréter pour les écologues impliqués dans le programme, qui s'intéressent aux fonctionnements des communautés. « *Car l'organisme dont on détecte la présence ne joue pas forcément de rôle localement*, poursuit Florence Pradillon. *La parade consiste à enlever tous les éléments petits et dégradés pour ne retenir que les brins d'ADN à peu près intacts. Les premiers sont très peu présents dans l'eau mais se retrouvent en revanche dans les sédiments, un milieu quasi sans oxygène.* »
La solution consisterait donc à privilégier des échantillons présents dans l'eau, mais cela nécessite de prélever et traiter de grands volumes, alors qu'une petite carotte de sédiments (cylindre de sédiments non perturbés prélevé dans le plancher océanique) concentre plus de traces d'ADN retombés sur les fonds au fil du temps. Enfin, les sédiments ont été bien moins étudiés jusque-là, ce qui en fait un objectif central du programme. « *Avec cette approche*, indique Florence Pradillon, *puisque nous traitons de petits volumes de matériaux, la question de la représentativité se pose. De plus, cela nous fournit une série de fiches d'identité, sans nous donner*

INSTRUMENTS

L'avènement des séquenceurs de poche

Lors de la mission océanographique AMIGO, qui s'est déroulée en 2018 entre Saint-Pierre-et-Miquelon et Brest, Julie Poulain avait installé son poste de séquençage… sur le pont du bateau ! L'ingénieure de recherche au Génoscope utilise en effet un engin de la taille d'un smartphone, le MinION, relié à un ordinateur portable. Ce séquenceur ultraminiaturisé permet de faire des séquences de 500 molécules en parallèle. Les extraits d'eau ou de sédiments sont déposés sur une membrane à nanopores. Les molécules traversent ces infimes trous de quelques nanomètres, au travers desquels passe également un courant ionique. « *Les autres méthodes de séquençage nécessitent de fragmenter l'ADN pour lire des millions de petits fragments et il faut ensuite les réassembler. Là, on fait passer la molécule dans le nanopore : cela modifie les potentiels électriques et on lit la séquence au fur et à mesure du passage de la molécule entière* », explique Quentin Caradec, chercheur à l'Institut de biologie François-Jacob, à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine). Cela permet de savoir rapidement quels sont les organismes présents et de réorienter l'échantillonnage au jour le jour.

Le MinION permet de réaliser des analyses *in situ* (ici l'ingénieure de recherche Julie Poulain).

la photo de son possesseur. Il faudra donc compléter avec une approche plus classique, afin d'attribuer des séquences d'ADN à un organisme en particulier. »
Les résultats préliminaires de ces trois premières années d'études bousculent déjà certaines hypothèses scientifiques : « *Les plongées réalisées dans les fosses hadales du Pacifique jusqu'à 10 000 mètres de profondeur ont montré qu'il y a une grande diversité dans ces gouffres qui concentrent la biodiversité,* s'enthousiasme Sophie Arnaud-Haond. *En outre, nous découvrons qu'il s'y trouve peu d'espèces en commun avec les plaines abyssales.* »
Les chercheurs ont pu confirmer par ailleurs l'idée qu'il existe une stratification des espèces selon la profondeur. « *Il y a une zone de rupture à environ 1000 mètres en Méditerranée et dans l'Atlantique Nord dans la composition des communautés* », analyse Sophie Arnaud-Haond. En parallèle, a été mené dès 2017 le séquençage des échantillons collectés au Génoscope, le centre français de séquençage génétique situé à Évry-Courcouronnes (Essonne), un volet appelé eDNAbyss. « *Chaque échantillon va produire 6 à 10 millions de séquences, soit 10 à 15 milliards de séquences pour la seule partie métabarcode* », calcule Sophie Arnaud-Haond. Pourquoi pas les abysses ? n'est pourtant que l'étape préliminaire d'un vaste programme de recensement de la vie marine des profondeurs qui veut à l'avenir s'imposer sur les prochaines campagnes océanographiques, qu'elles soient françaises ou étrangères. Cet état des lieux permettra de mesurer l'impact des activités anthropiques dans les grands fonds, jusque-là préservés de toute intrusion humaine. ■

« Il faudra compléter avec une approche plus classique pour attribuer les séquences d'ADN à un organisme »

Florence Pradillon, chercheuse au Laboratoire environnement profond de l'Ifremer, à Plouzané (Finistère)

En un siècle, le camembert est passé du vert au blanc

Des chercheurs ont établi la façon dont, grâce à la sélection humaine, la moisissure qui caractérise les fromages à pâte molle a été domestiquée.

AGE FOTOSTOCK

SI L'ON SE DÉLECTE aujourd'hui de savoureux camemberts bien blancs, c'est que nos ancêtres ont réussi à domestiquer une moisissure particulière appelée *Penicillium camemberti*, révèle l'équipe de Jeanne Ropars du Laboratoire écologie, systématique, évolution (CNRS/université Paris-Saclay). « *Ce champignon filamenteux est devenu très spécialisé pour pousser sur les fromages, il ne se trouve pas ailleurs et ne survivrait probablement pas dans la nature* », précise Jeanne Ropars. Sur le milieu très nutritif du fromage en revanche, il se caractérise par sa croissance rapide et en épaisseur, ce qui contribuerait à exclure d'autres champignons contaminants.

Jusqu'au début du XXe siècle, les fromages à pâte molle et croûte fleurie connus depuis le Moyen Âge tels que le brie étaient plutôt gris-vert, comme le montrent certains tableaux. Mais les moisissures ont évolué sous l'effet de la sélection humaine. Dans un premier temps, elles ont été choisies pour leur capacité à se développer et même à s'imposer sur les fromages au cours de leur affinage. « *Nous avons retrouvé dans le génome des champignons du genre* Penicillium *deux paquets de gènes identiques qui les rendent aptes à digérer le lactose et à produire des substances inhibant d'autres champignons* », s'étonne Jeanne Ropars.

En 1897 se produit un événement crucial. Un entrepreneur, Georges Roger, sélectionne une souche blanche de champignon sur un brie qui conduit à la culture exclusive de *Penicillium camemberti* sur le camembert. De plus il met au point la méthode d'ensemencement du lait avec des spores spécifiques de champignons, ce qui permet une production plus standardisée des fromages. Appliquées au camembert de Normandie en 1901, ces innovations vont contribuer au succès commercial de ce fromage. Le champignon a alors atteint un degré élevé de spécialisation : « *Quand nous le cultivons* in vitro *sur un milieu proche de celui du fromage en présence d'autres champignons, il prend rapidement le dessus avec son épais tapis cotonneux et dégage l'odeur caractéristique du camembert* », témoigne Jeanne Ropars.

En séquençant le génome d'une trentaine de champignons des fromages, les chercheurs ont découvert qu'une autre souche de *Penicillium camemberti*, grise mais génétiquement très proche, appelée variété *caseifulvum* colonisait le saint-marcellin et la rigotte de Condrieu. Si ces deux variétés de *P. camemberti* sont adaptées à la consommation humaine de fromages, c'est aussi parce qu'elles ne produisent plus (ou très peu) une substance potentiellement toxique.

Au fil du temps et de la sélection humaine, ces moisissures ont acquis des propriétés génétiques conférant des caractères esthétiques et gustatifs uniques au fromage qu'elles colonisent, et perdu en même temps certaines de leurs capacités à survivre et à se reproduire dans la nature. L'histoire du camembert n'est pas un cas à part : « *Cette domestication se retrouve aussi chez d'autres champignons du fromage comme le* Penicillium roqueforti *utilisé pour le roquefort* », conclut Jeanne Ropars. ■ **Pierre Kaldy**

TATIANA GIRAUD, CNRS

« Penicillium camemberti », moisissure blanche et cotonneuse issue du brie, élimine tous les autres champignons.

JONATHAN BANKS/MICROSOFT

Proche de la taille d'un conteneur, le centre de données immergé près de l'île d'Orkney (Écosse) a été alimenté par de l'énergie renouvelable.

Un datacenter sous-marin refroidi à l'eau de mer

Ce caisson regroupant 864 serveurs informatiques a fonctionné pendant plus de deux ans immergé à 35 mètres de profondeur.

Une citerne ? Un conteneur ? Mi-septembre, au large des îles Orcades au nord de l'Écosse, Microsoft a sorti des eaux un cylindre de 12 mètres de long et 2,8 m de diamètre. Il s'agit en réalité d'un datacenter (un regroupement de serveurs informatiques qui stockent à distance des données) qui avait été plongé à 35 m de profondeur par le groupe informatique américain à titre de test en juin 2018. C'est le projet Natick. L'enjeu de cette expérimentation : le refroidissement par l'eau de mer. En effet, les data centers regroupent des dizaines de milliers de processeurs qui produisent de la chaleur en fonctionnant, ce qui oblige à installer des climatisations. Après un premier essai réussi sur quelques mois en 2015, Microsoft a voulu éprouver la résistance d'un tel équipement sur un temps long.
Le datacenter était relié par câble au réseau d'énergies renouvelables (éoliennes et solaires) qui alimente les îles Orcades. Construit par le français Naval Group, il emprunte sa conception aux sous-marins, en particulier pour l'échangeur de chaleur. L'eau de mer, froide, est pompée dans les radiateurs situés à l'arrière des racks de serveurs. Elle fait descendre la température à l'intérieur du conteneur tandis qu'elle récupère la chaleur émanant des équipements. Elle est ensuite rejetée directement dans l'environnement marin. Selon Microsoft, les eaux chaudes renvoyées dans la mer se dissiperaient rapidement grâce aux courants. De l'eau est de nouveau pompée et le cycle recommence. Des données qui devront être vérifiées.
Le datacenter a été retiré couvert d'algues et de crustacés mais sans dommages. Surtout, seuls huit de ses 864 serveurs sont tombés en panne. Et selon Microsoft, ce serait huit fois moins que dans les datacenters terrestres. Selon les responsables du projet, qui doivent analyser les éléments de cette expérience, c'est l'absence de présence humaine qui a contribué au bon état des serveurs : pas d'erreur de manipulations, pas de heurts et un environnement stable. Par ailleurs, l'oxygène à l'intérieur du datacenter avait été remplacé par de l'azote, ce qui aurait évité la corrosion. ■

Arnaud Devillard @A_Devila

UNIVERSCIENCE

La Recherche
Climat

PAR CHRISTOPHE CASSOU*
CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CÉLINE GUIVARCH **

Les sciences du climat à l'épreuve de vérité

Canicules, sécheresses exceptionnelles sur certaines régions mais déluges sur d'autres, les événements extrêmes se multiplient sur l'ensemble de la planète. Nous sommes à ce moment précis du XXIe siècle où l'effet de l'humain sur le système climatique émerge de plus en plus clairement de la variabilité naturelle du climat : ce que nous vivons aujourd'hui serait virtuellement impossible sans la perturbation anthropique. Le changement climatique engendre de l'inédit pour nos sociétés modernes ; il devient désormais palpable, détectable par nos sens.
Dans ce contexte « d'émergence », retournons 30 à 40 ans en arrière pour soumettre les sciences du climat à l'épreuve de vérité. Que disaient les projections climatiques publiées dans les années 1980-1990 sur le climat des années 2020 ? Elles prévoyaient bien ce que nous observons aujourd'hui aux échelles globales, voire continentales. Mais ce qui est remarquable, c'est surtout la cohérence entre un grand nombre de processus physiques contribuant au changement climatique alors simulés et aujourd'hui observés. La modélisation climatique a longtemps été décriée sur la base d'arguments fallacieux (confusion météo-climat, par exemple) pour remettre en question ses capacités prédictives. Mais la bonne performance des premiers modèles assoit notre confiance dans la capacité de ceux d'aujourd'hui à prévoir notre futur climatique en fonction de nos trajectoires d'émissions. Et que nous indiquent ces projections ? Que le seuil de 1,5 °C de réchauffement global sera très probablement (c'est-à-dire avec plus de 95 % de chance) franchi autour de 2030 sur la base des émissions de CO_2 actuelles et passées, mais que le niveau de stabilisation de la température de la seconde partie du XXIe siècle est encore entre nos mains *(lire aussi pp. 30 à 40)*. ■

> « La bonne performance des premiers modèles assoit notre confiance dans ceux d'aujourd'hui »

* Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1
** Directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

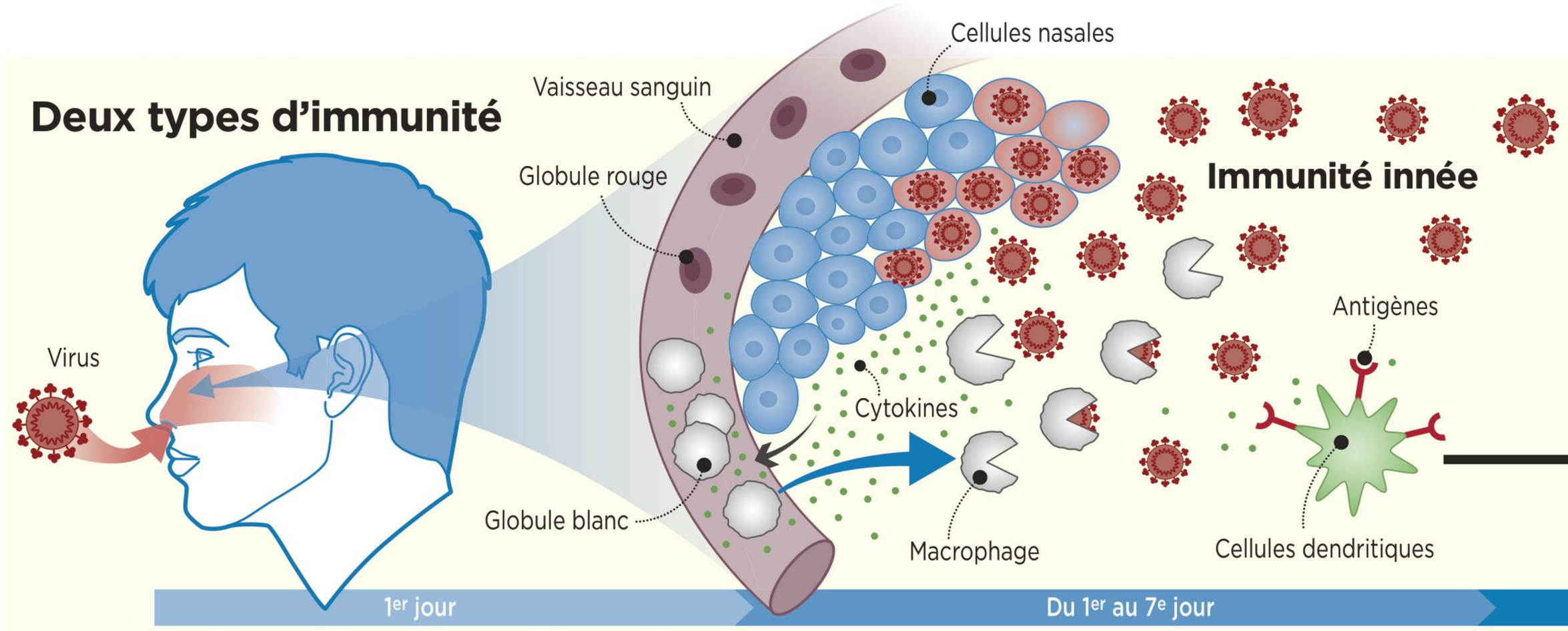
SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Covid-19, comment l'organisme se défend

La réaction du système immunitaire est déterminante pour aider l'organisme à lutter efficacement contre le virus. Explications.

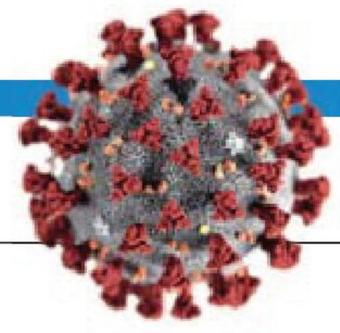
Par Hugo Jalinière @HugoJaliniere

POURQUOI CERTAINES PERSONNES, sans symptômes, ne se rendent même pas compte qu'elles sont infectées par le Sras-CoV-2 quand d'autres passent huit à dix jours cloués au lit, si ce n'est pire ? Cela dépend en grande partie de la réaction du système immunitaire qui, dès les premières minutes après le contact infectieux, peut se révéler déterminante. Notre immunité est en effet une arme à double détente : la première est dite innée car les mécanismes de défense sont enclenchés à l'endroit même où le virus tente sa percée. La réaction est peu spécifique — elle s'attaque de façon similaire à n'importe quel intrus — mais immédiatement disponible et mobilisable *in situ*. L'autre, dite adaptative, a besoin de quelques jours pour se mettre en action. C'est une cascade de réactions biochimiques déclenchée par la première — au front — et qui conduit de nou-



Dès les premières heures de l'infection, les cellules situées à proximité du site d'entrée du virus régissent en libérant des cytokines en cascade. Ces protéines donnent l'alerte et régulent la réponse immunitaire.

Les cytokines créent un environnement antiviral et mobilisent des globules blancs. Ceux-ci se transforment en macrophages « gobant » le virus ou en cellules dendritiques qui découpent des morceaux du pathogène, les antigènes.



veaux types cellulaires à affiner la réponse. Notamment grâce à la production d'anticorps, des molécules qui neutralisent de façon spécifique les particules virales. Dans le cas du Covid-19, tout commence lorsqu'un postillon ou un aérosol chargé en particules virales arrive au contact de cellules du nez par exemple, l'endroit idéal pour le coronavirus. Aussitôt, celles-ci détectent l'intrus et produisent des cytokines : ces protéines du système immunitaire sont des messagères, permettant aux cellules de communiquer à distance, réguler la réponse et produire un environnement antiviral. Parmi ces cytokines, les interférons de type 1 (IFN-1) sont censés « aller au contact » de la réplication virale pour la ralentir. Si ces troupes de choc n'entrent pas en scène très vite, tout l'organisme en souffrira comme vient de le montrer une équipe dirigée par l'Institut Imagine (hôpital Necker, Paris) et l'université Rockefeller à New York (États-Unis) : près de 15 % des formes potentiellement mortelles de Covid-19

SIMON FILLATREAU

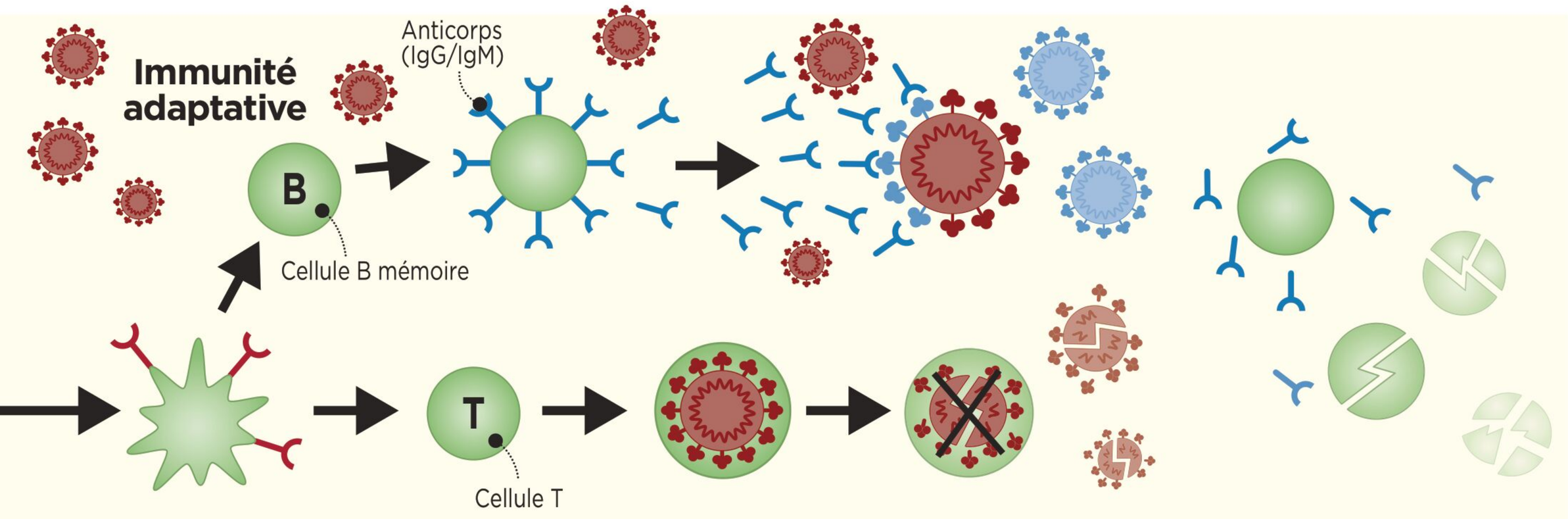
« Les effets de l'immunité adaptative sur l'infection ne sont pas significatifs avant une semaine »

Simon Fillatreau, directeur du département Immunologie, infectiologie de l'Institut Necker-Enfants malades, à Paris

s'expliquent soit par un défaut de production des IFN-1, soit par la présence d'anticorps qui bloquent leur action. Une faille dans le dispositif de défense due à des facteurs génétiques : 22 variations sur huit gènes différents ont pu être associées à ces cas graves… et d'autres sont à découvrir.

Des réponses immunitaires variables selon les personnes

L'efficacité des réponses immunitaires de chacun est donc extrêmement variable. Chez les asymptomatiques, elle semble parfaite. Elle n'a jamais besoin de s'intensifier au point de provoquer de la fièvre ou des courbatures. En revanche, chez les malades qui développent des symptômes, l'incubation (temps entre l'infection et leur apparition) dure cinq jours en moyenne. « *L'immunité adaptative est alertée en quelques jours, mais ses effets sur l'infection ne deviennent pas significatifs avant une semaine* », explique Simon Fillatreau, directeur du département Immunologie, infectiologie de l'Institut Necker-Enfants malades. Il faut en effet que les signaux émis au site d'infection par l'immunité innée parviennent à faire produire des lymphocytes à la moelle osseuse ou au thymus, temps auquel s'ajoute celui de l'acheminement de ces renforts sur place. Pour être efficaces, ces cellules copient alors des morceaux de virus, les antigènes, pour mettre en place une défense *ad hoc*. C'est ainsi que les lymphocytes B à maturité vont permettre la production de 500 à 1000 anticorps spécifiques par ▸



Mobilisées, les cellules du système immunitaire adaptatif (lymphocytes B et T) déclenchent une réponse antivirale spécifique grâce aux antigènes qui leur sont présentés. Les cellules B produisent les anticorps qui neutralisent le virus (bleu), les lymphocytes T détruisent le pathogène et les cellules infectées.

Les anticorps semblent disparaître 3 à 7 mois après l'infection. Mais les lymphocytes B et T gardent en mémoire l'antigène pour réagir en cas de nouveau contact.

BRUNO BOURGEOIS

seconde (les IgG et IgM). Ce sont eux que recherche le test sérologique réalisé en pharmacie. Les lymphocytes T, quant à eux, attaquent et détruisent directement les particules virales. Tout l'enjeu du combat étant d'empêcher la dissémination du virus : plus ce dernier prolifère, plus l'activité cellulaire et cytokinique s'intensifie et plus les symptômes se font présents. Dans les cas les plus graves, c'est « l'orage cytokinique » : la réponse du système immunitaire est si forte qu'elle attaque l'organisme, et peut entraîner une défaillance polyviscérale conduisant à la mort.

Lymphocytes et mémoire cellulaire

En cas de victoire, et donc de guérison, les lymphocytes vont garder en mémoire — tels des trophées — les morceaux de virus qu'ils ont copiés. Ce qui leur permettra d'attaquer plus vite encore le virus si celui-ci vient à refaire irruption dans l'organisme. Mais combien de temps sont-ils ainsi réactifs ? Au moment où nous écrivons ces lignes, une quinzaine de cas de réinfection ont pu être documentés dans le monde. « *Au regard des plus de 40 millions de cas confirmés, c'est suffisamment peu pour être rassurant* », note le Pr Matthieu Mahévas, qui copilote avec Simon Fillatreau une étude sur la mémoire des lymphocytes B et T. Quant aux anticorps, ils persisteraient durant 3 à 7 mois selon les diférentes observations, ce qui n'empêche pas les lymphocytes de rester prêts à agir plus longtemps. C'est du moins ce qui a été constaté face à d'autres coronavirus communs où cette mémoire cellulaire a protégé jusqu'à deux ans contre une réinfection. Mais, tout juste un an après l'émergence du Sras-CoV-2, il est encore trop tôt pour savoir comment notre immunité y réagira dans le temps. ■

DERNIÈRES NOUVELLES

BIENAIMÉ/BSIP

Le vaccin antigrippal ne protège pas contre le Covid-19, mais il permet d'éviter des surinfections affaiblissant l'organisme.

Se vacciner contre la grippe pour se protéger du Covid-19 ?

« *Oui* », conseille sans ambages Cornelius Clancy, spécialiste des maladies infectieuses à l'université de Pittsburgh (États-Unis). Et pas parce que ce vaccin protégerait d'une infection par le coronavirus. Mais parce qu'il est essentiel d'éviter les surinfections qui affaiblissent un organisme déjà soumis à rude épreuve. Coauteur d'un article publié en mai sur les risques de surinfection chez les patients hospitalisés pour le Covid-19, le chercheur avoue que « *les médecins ignorent encore si l'infection par la grippe rendrait par exemple un organisme plus susceptible d'être attaqué par le coronavirus, ou inversement* ». Mais il met en garde contre les risques encourus par des patients touchés par l'un de ces virus, ou pis par les deux, s'ils se retrouvent à l'hôpital confrontés aux maladies nosocomiales et aux « *bactéries résistantes aux antibiotiques ou aux champignons qui se retrouvent dans un environnement hospitalier* ».

Hervé Ratel

L'immunité de groupe est un mirage

Plus il y a de personnes immunisées dans une population, plus la circulation d'un virus est ralentie, c'est mathématique. Mais « *jamais dans l'histoire de la santé publique, l'immunité collective n'a été utilisée comme stratégie pour répondre à une épidémie* », a rappelé le directeur général de l'OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus. De fait, compte tenu de la mortalité du virus (0,3 à 1,3 %) et du nombre de personnes à infecter, atteindre une immunité de groupe de 50 %, en France, « coûterait » de 100 000 à 450 000 morts. **H. J.**

Source : Arnaud Fontanet, Institut Pasteur (France).

Une faible charge virale peut immuniser

Des chercheurs évoquent de plus en plus l'hypothèse selon laquelle la sévérité de la maladie dépendrait en partie de la dose infectieuse initiale appelée *inoculum*. Des expériences chez l'animal et des observations chez l'humain tendent à montrer que le port du masque, lorsqu'il n'empêche pas l'infection, réduirait cet inoculum, augmentant ainsi le taux d'asymptomatiques. Et accroîtrait donc le nombre de personnes qui s'immunisent naturellement. Plusieurs études suggèrent par ailleurs un lien entre la charge virale détectable dans l'organisme et la sévérité de la maladie. **H. J.**

Source : Monica Gandhi, université de Californie à San Francisco (États-Unis).

Neandertal a légué un gène fragilisant

Un fragment d'ADN hérité de Neandertal triplerait le risque de formes graves de Covid-19. Présent chez 50 % de la population en Asie du Sud, 16 % en Europe et presque absent en Afrique, cet héritage génétique provient des croisements entre Neandertal et *sapiens* survenus en Europe il y a 60 000 ans. **H. J.**

Source : Svante Pääbo, institut Max-Planck d'Anthropologie évolutionniste (Allemagne).

Les mutations du virus sont sans impacts pour les vaccins

Deux souches principales de Sras-CoV-2 ont circulé ces onze derniers mois. La première (D) jusqu'en mars-avril, avant que la deuxième (G), légèrement plus contagieuse, s'impose désormais à plus de 75 %. De quoi perturber le développement des vaccins lancé sur la première souche ? Non, selon une étude, la mutation ne semble pas de nature à transformer la façon dont l'immunité reconnaît et cible le virus. Et les vaccins à venir ne devraient donc pas être modifiés. **H. J.**

Source : Alexander McAuley, CSIRO (Australie).

NOUVELLE FORMULE

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

EN VENTE
À PARTIR DU 5 NOVEMBRE
chez votre marchand
de journaux
et chez votre libraire

LES 25 SCIENTIFIQUES QUI ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO

François Apéry, *mathématicien,* Institut Henri-Poincaré, Paris
Julien Aubert, *géophysicien,* chercheur, Institut de physique du globe de Paris
Jibril Ben Achour, astrophysicien, chercheur, université de Kyoto, Japon
Michelle Bergadaà, *marketing et communication,* chercheuse et professeure, université de Genève, Suisse
Robert Brandenberger, *astrophysicien,* professeur, université McGill, Montréal, Canada
Barbara Cassin, *philologue et philosophe,* Médaille d'or du CNRS
Antoine Chambert-Loir, *mathématicien,* professeur, université de Paris
Nicolas Coltice, *géophysicien,* chercheur, École normale supérieure de Lyon
Marie Dégremont, *sciences politiques,* chercheuse, Sciences Po, Paris
Jean-Gabriel Ganascia, *informaticien,* chercheur, Sorbonne Université, Paris
George Gao, *virologue,* directeur général du Centre chinois de contrôle et de prévention des maladies, Pékin
Julien Grain, *astrophysicien,* chercheur, Institut d'astrophysique spatiale, Orsay
Sabine Hossenfelder, *physicienne,* chercheuse, Institut des études avancées de Francfort, Allemagne
Maxime Jacquet, *physicien,* chercheur, Sorbonne Université, Paris
Jean-Pierre Luminet, *astrophysicien,* chercheur, laboratoire d'astrophysique de Marseille
Mathilde Mougeot, *informaticienne,* professeure, École nationale supérieure d'informatique pour l'industrie et l'entreprise
Roger Penrose, *mathématicien et physicien,* Prix Nobel de physique, université d'Oxford, Royaume-Uni
Sébastien Renaux-Petel, *astrophysicien,* Institut d'astrophysique de Paris
Barbara Romanowicz, *géophysicienne,* chercheuse et professeure, université de Californie à Berkeley, États-Unis, et Collège de France
Jean-Sébastien Steyer, *paléontologue,* chercheur, CNRS, Muséum national d'histoire naturelle
Martin Stratmann, *chimiste,* président de la Société Max-Planck, Allemagne
Antoine Tilloy, *physicien,* chercheur, Institut Max-Planck pour l'optique quantique, Munich, Allemagne
Laurence Tubiana, *économiste,* Fondation européenne pour le climat
Vincent Vennin, *astrophysicien,* chercheur, CNRS, laboratoire astroparticule et cosmologie, Paris
Francesca Vidotto, *astrophysicienne,* chercheuse, université Western, London, Canada

La Recherche
LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE

La mauvaise saison ne doit pas être prétexte à rester confiné : une activité physique régulière (5 fois par semaine) réduit de près de moitié la survenue des maladies de l'hiver.

5 questions pour lutter contre les virus de l'hiver

Au risque du Covid-19, s'ajoute celui des rhumes et de la grippe. Il est donc important d'avoir les bons réflexes de prévention et de stimulations de ses défenses immunitaires pour éviter ces traditionnels maux de l'hiver.

1 Pourquoi le froid n'est-il pas le grand ennemi ?

FACE AUX VIRUS DITS SAISONNIERS, le premier réflexe est de se couvrir pour éviter « d'attraper froid ». Mais aucune étude scientifique n'a pu attester à ce jour du rôle central de la chute des températures dans la survenue de rhumes… « *Le froid déclenche des réactions de type éternuements ou nez qui coule* [car les muqueuses sont plus sensibles l'hiver], *mais ce sont des manifestations transitoires, souvent indépendantes d'une attaque virale* », explique Maël Lemoine, philosophe des sciences médicales à l'université de Bordeaux et auteur de *Petite Philosophie du rhume* (éditions Hermann). « *Seul un éternuement sur 13 en moyenne transporte des rhinovirus à l'origine de la majorité des rhumes, selon une étude de chercheurs de l'université de Virginie (États-Unis) sur la transmission des rhumes parue en 1973 dans le New England journal of Medicine* », rappelle le chercheur. Si l'hiver nous met à l'épreuve, c'est d'abord parce que nous nous regroupons à l'intérieur quand il fait froid. Ainsi, chaque année, la circulation des rhinovirus débute systématiquement en septembre avec le premier grand épisode de « promiscuité » — la rentrée des classes — et s'accentue quand la vie au foyer et en collectivité démultiplie les occasions de contacts — ce qui est également le cas pour la grippe. La contamination se faisant par les larmes ou le mucus des narines, la circulation des virus est augmentée dès qu'on se touche le visage. Conclusion : cette année, le port du masque imposé dans le cadre de la lutte contre le Covid-19 et le respect des « gestes barrières » (se laver les mains, tenir ses distances) devraient largement atténuer les infections.

2 à 4

Le nombre moyen de rhumes par an par personne en France. Un seul pour les plus de 60 ans, 8 à 12 pour les moins de 5 ans.

8 100

Le nombre de morts de la grippe saisonnière en 2018-2019 — dont 64 % de plus de 65 ans.

SOURCES : SANTÉ PUBLIQUE FRANCE ET AFIPA.

2 Quelle protection apporte l'immunité ?

Une bonne nouvelle : 40 % des infections virales banales qui surviennent sont guéries sans même que l'on s'en rende compte, selon une étude de la Société américaine de microbiologie parue en 2012. La raison ? Notre système immunitaire, une fois en contact avec un virus, en garde la mémoire et sait généralement le contrer s'il se présente à nouveau. L'incertitude porte sur les souches en cause et la durée de cette immunité : de quelques mois contre les rhinovirus à plusieurs années contre des souches du virus de la grippe ou certains coronavirus. Mais le flou demeure concernant le Sras-Cov-2, les chercheurs n'étant pas à même d'établir cette durée ni même son existence. L'efficacité de ce bouclier interne dépend aussi de notre état de santé : ainsi, même s'ils ont la mémoire immunitaire la mieux fournie, les seniors ont des défenses moins robustes en raison précisément de la sénescence de leurs cellules.

Par Régis de Closets, avec Agence Forum News

GETTYIMAGES

On peut toujours compter sur la nature

OU sur L52, un médicament homéopathique aux 10 substances actives utilisé pour lutter contre les symptômes de l'état grippal.

Fièvre, frissons, courbatures, maux de tête.
L52 de Lehning est un médicament homéopathique traditionnellement utilisé dans le traitement des états grippaux.

Sans somnolence.

Disponible sans ordonnance en pharmacie.

FABRIQUÉ EN FRANCE

À partir de 2 ans

VU à la TV

NOUVEAU

À partir de 30 mois

Contient de l'alcool

OU

Contient du lactose

Lire attentivement la notice. Si les symptômes persistent, consultez votre médecin. Demandez conseil à votre pharmacien.

Laboratoires Lehning 3, rue du petit marais 57640 Sainte-Barbe.
VISA N°19/03/68789050/GP/001 - 2020-PI-031.

LEHNING
LABORATOIRES

AVIS D'EXPERT

BRIGITTE AUTRAN Professeure émérite en immunologie à la faculté de médecine Sorbonne-Université (Paris)

« Le port du masque constitue aussi une bonne protection contre la grippe »

En quoi les mesures de prévention contre le Covid-19 mises en place ces derniers mois peuvent-elles mieux nous protéger contre l'épidémie de grippe cet hiver ?
Au printemps dernier, les mesures de confinement ont certainement contribué à raccourcir l'épidémie de grippe en cours. Il ne s'agit pas de reconduire des contraintes identiques, en revanche le port généralisé du masque constitue une très bonne arme pour se prémunir contre la grippe.

VINCENT COLIN

Son niveau de protection est le même que face aux virus grippaux.

Un confinement ponctuel de populations à risque comme les seniors vous paraît-il nécessaire ?
Les seniors ont un rôle social fort à assumer, notamment comme grands-parents, et il ne s'agit pas de casser les solidarités intergénérationnelles. Une vaccination contre la grippe, recommandée cette année plus que jamais, et une distanciation raisonnée, en évitant le contact avec les personnes malades et en appliquant les gestes barrières paraissent suffisantes.

Peut-on espérer dans un proche avenir un vaccin universel contre la grippe ?
Il est complexe à mettre au point face à des souches grippales différentes qui se recombinent chaque année. Les protéines que ciblent le plus facilement les anticorps sont aussi celles qui mutent le plus fréquemment. Les programmes de recherche actuels se concentrent sur des protéines plus stables, mais plus difficilement accessibles. Plusieurs essais sont en phase 2, sans encore de perspective claire de mise sur le marché. ■ **Propos recueillis par R. de C.**

3 Que manger pour doper les défenses de son organisme ?

Les principaux alliés de nos défenses immunitaires logent dans notre alimentation. Les agrumes sont excellents pour l'apport en vitamine C, les poissons gras comblent en partie les déficits en vitamine D, sans oublier l'assaisonnement des repas. Il faut ainsi penser à l'ail avec son composé sulfuré l'allicine qui contribue à la multiplication des globules blancs en lutte contre les virus. Bémol : ces propriétés ne valent que si l'ail est frais et consommé régulièrement — l'étude scientifique de référence réalisée en 2001 par l'université du Maryland (États-Unis) s'appuyait sur une population en ayant consommé quotidiennement pendant trois mois.
Autre option : le miel (particulièrement riche en flavonoïdes, un composé naturel qui aide à lutter contre les virus) ou les herbes dont la présence dans une vinaigrette double le pouvoir antioxydant de la salade. Il faut aussi piocher dans la boîte à épices, puissants antioxydants dotés de propriétés antivirales. Certes, les pouvoirs du curcuma sont aujourd'hui relativisés car ses polyphénols s'assimilent mal dans l'organisme. Mais le gingembre contient à lui seul 12 composants chimiques aux effets antiviraux, utiles face aux rhinovirus.

4 Faut-il arrêter l'exercice physique en hiver ?

Une étude de l'université d'État des Appalaches (États-Unis) a attesté en 2011 les effets bénéfiques d'une activité physique régulière (cinq fois par semaine) sur les maux de l'hiver. Elle aurait contribué à réduire de 43 % les jours de maladies entre automne et hiver chez les mille personnes suivies. N'hésitez donc pas à vous faire plaisir — seules les personnes fragiles au niveau cardio-vasculaire ou respiratoire doivent faire attention au froid — d'autant que les nouveaux équipements rendent certaines pratiques plus accessibles. La marche nordique peut ainsi s'exercer avec des bâtons dynamiques (BungyPump), qui intègrent une résistance de 4 à 10 kg, permettant de se tenir plus droit et de dépenser plus d'énergie. Pensez également aux VTT électriques qui permettent de mieux doser l'effort de pédalage. Une étude britannique en 2019 a montré que le vélo électrique, en allongeant les circuits de balade, améliorait la cognition des seniors par rapport au vélo classique.

5 Quels médicaments peuvent être utiles ?

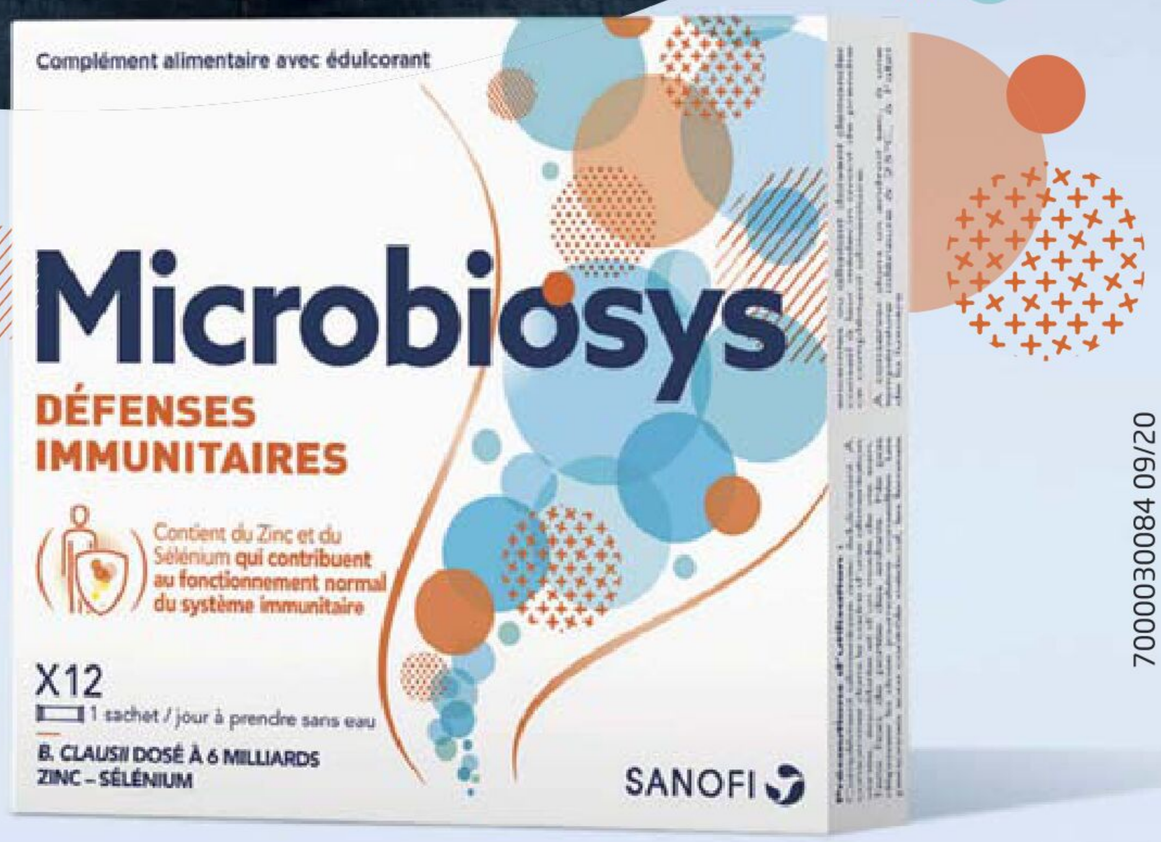
La lutte contre les rhumes et la grippe représenterait 51 % des achats de médicaments en vente libre (sondage Afipa/Harris Interactive 2019). Attention : ces traitements ne font que soulager les symptômes et certains peuvent présenter de vrais risques. Le surdosage de paracétamol (présent dans beaucoup de ces médicaments) reste la première cause de greffe de foie. Ne pas dépasser 4 g de paracétamol (et 3 g d'aspirine) par jour. Les mésusages, en particulier les mélanges (ne pas additionner antidouleur et antirhume) ou les prises au-delà de 5 jours, sont aussi à l'origine d'effets secondaires.
Concernant la grippe, privilégiez la vaccination, surtout en période de pandémie de Covid-19. « *Il n'y a pas d'effet combiné du vaccin antigrippal contre le Covid-19*, explique Vincent Enouf, directeur adjoint du Centre national de référence des virus respiratoires à l'Institut Pasteur. *Mais il est utile de se faire vacciner le plus tôt possible car les deux virus ciblent les seniors et la vaccination permettra d'identifier plus rapidement d'éventuels signes d'infection au Covid-19 par élimination de l'hypothèse grippale.* » ■

Changement de saison ?

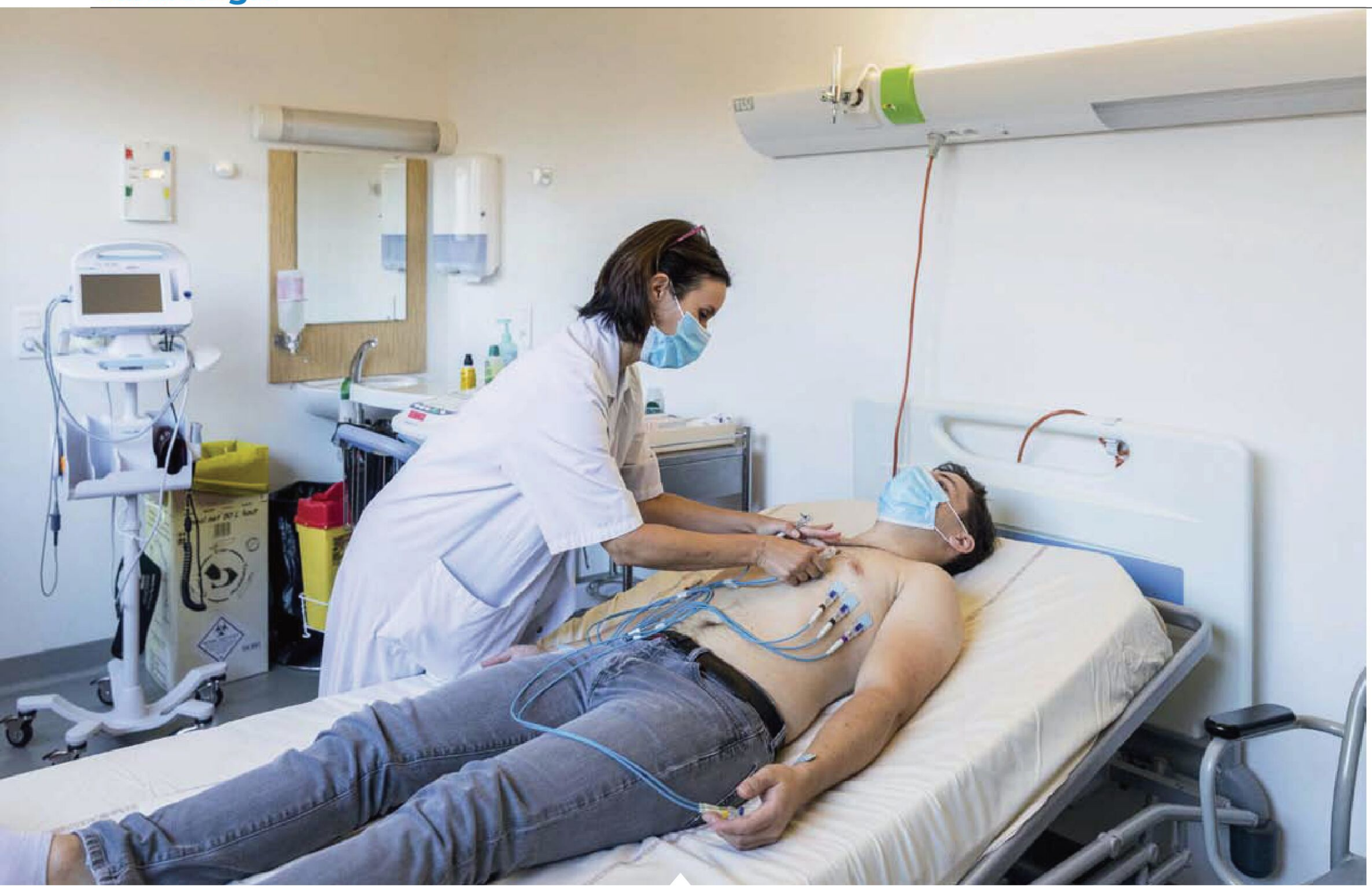
Découvrez Microbiosys Défenses Immunitaires

Microbiosys Défenses Immunitaires est un complément alimentaire réservé à l'adulte. Il contient du zinc et du sélénium qui contribuent au fonctionnement normal du système immunitaire. Pour plus d'informations, consultez www.microbiosys.com

SANOFI



POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE MANGER TROP GRAS, TROP SUCRÉ, TROP SALÉ. WWW.MANGERBOUGER.FR



Le dépistage familial permet d'identifier une éventuelle maladie cardiaque d'origine génétique et d'assurer le suivi des membres de la famille d'une personne victime de mort subite (ici, au Centre de référence des troubles du rythme cardiaque héréditaires ou rares, à Nantes).

Comprendre et prévenir les morts subites inexpliquées

À l'institut du Thorax de Nantes, une équipe unique en France analyse les situations de mort subite inexpliquée chez les adultes, qui touche 2000 personnes chaque année. L'objectif est de repérer les troubles à l'origine de ce phénomène méconnu. Reportage.

UN COUP DE TONNERRE DANS UN CIEL SEREIN, avec la mort comme premier... et dernier symptôme. Un corps s'écroule... et les secours ne parviennent pas à le réanimer. Tel est le dramatique scénario qui se répète près de 50 000 fois par an en France, faisant 15 fois plus victimes que les accidents de la route. Si le décès survient dans l'heure suivant les premiers symptômes, le diagnostic est souvent celui d'une mort d'origine cardiaque, selon la définition de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Chez les plus de 45 ans, qui représentent plus de deux tiers des cas, la cause est souvent facile à identifier : infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque... Mais chez les plus jeunes, la situation est souvent très différente. Nul n'est à même d'expliquer les raisons de ce que les spécialistes nomment la mort subite !

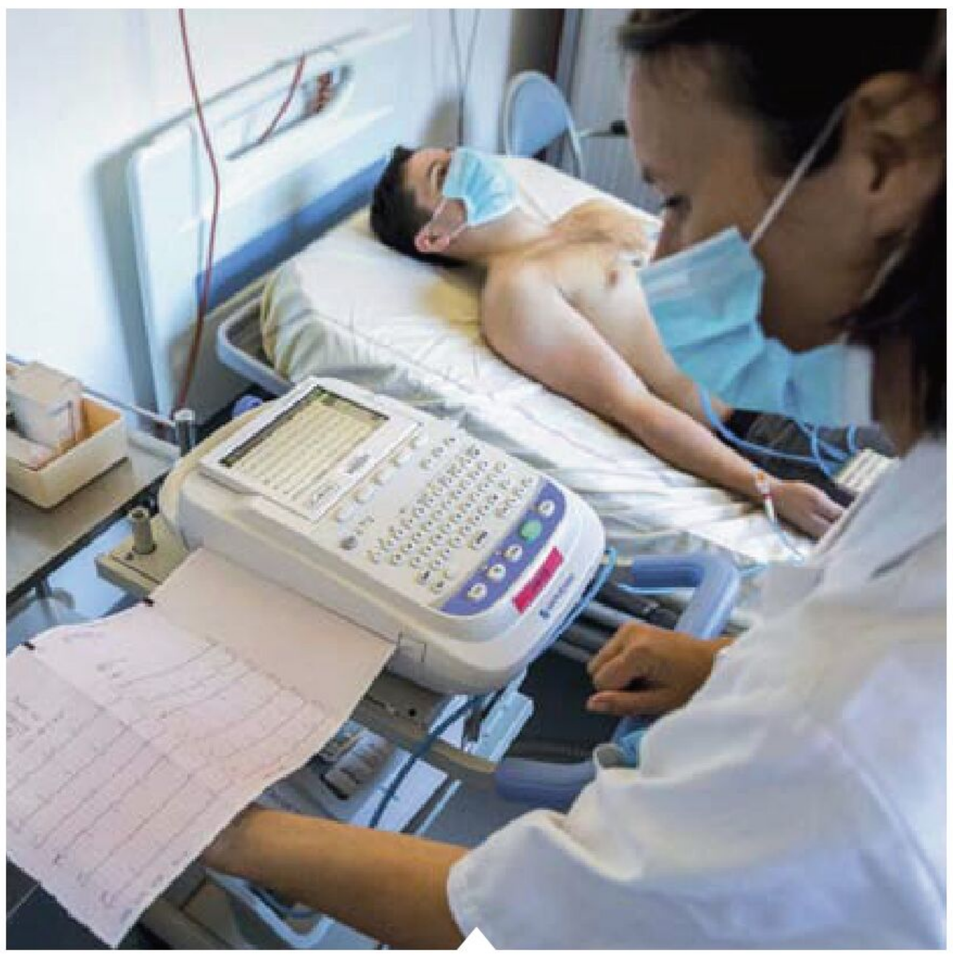
« Nous constatons environ 2000 cas de ce type par an, ces données étant

méconnues tant du grand public que des médecins », note le Pr Vincent Probst, responsable de l'équipe du Centre de prévention de la mort subite du sujet jeune à l'institut du Thorax à Nantes.

Une anomalie du rythme cardiaque

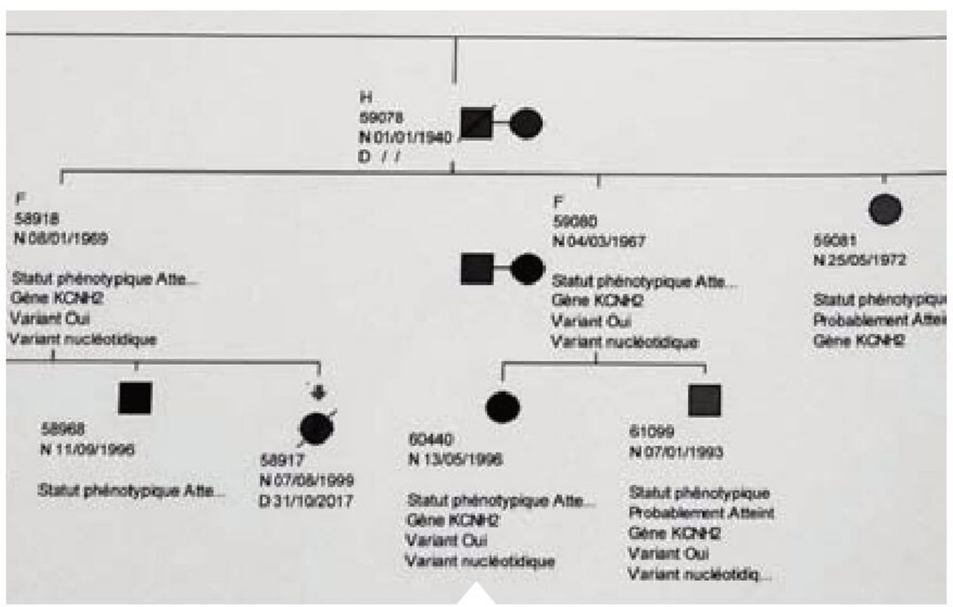
Cette unité, unique en France, travaille au sein du Centre de référence des troubles du rythme cardiaque héréditaires ou rares de l'Ouest et la filière nationale de santé maladies cardiaques héréditaires ou rares Cardiogen*. Elle s'est donné pour objectif d'identifier, de comprendre et de prévenir ces décès « inexpliqués ». « *À l'inverse des pays anglo-saxons, les autopsies médicales sont très rares en France. Parfois, sur les certificats de décès, on peut même lire "cause de la mort : rupture d'anévrisme", ce qui médicalement ne veut strictement rien dire tant qu'une autopsie n'a pas été réalisée !* », poursuit Vincent Probst. Or pour ce spécialiste et son équipe, « inexpliqué » ne veut pas dire « inexplicable ». Et les chercheurs ont d'ores et déjà obtenu des résultats. Ils ont en effet établi que les morts subites chez l'adulte jeune n'ont rien à voir avec une anomalie anatomique du cœur, la plupart du temps structurellement normal. Mais elles sont dues à un trouble du rythme cardiaque. « *Une anomalie totalement silencieuse jusqu'au jour où elle s'emballe, créant une accélération majeure dite fibrillation ventriculaire, qui entraîne la mort* », explique le médecin.

Les affections en cause se nomment syndrome du QT long, syndrome de Brugada, tachycardie ventriculaire cathécholergique... Elles demeurent mal connues et leur identification repose sur une enquête longue et minutieuse. Raison pour laquelle le Centre a mis en place un protocole spécial avec les Samu de la région Grand Ouest et les instituts



L'analyse clinique (ici un électrocardiogramme) permet de déceler des anomalies qui vont être croisées avec la génétique.

Les infirmières de recherche Annabelle Rajalu et Valérie Cotard vérifient les liens entre les personnes sur l'arbre généalogique d'une famille suivie.



Un profil phénotypique de la famille est réalisé — ici celle d'un jeune homme atteint d'un syndrome du QT long — indiquant les personnes saines (en vert) et celles atteintes (en noir).

médico-légaux : « *Dès qu'une mort subite est constatée, les équipes de secours sur le terrain — ou celles pratiquant ensuite une autopsie — réalisent une prise de sang*, explique Aurélie Thollet, la cheffe de projet du centre. *Des analyses génétiques sont alors effectuées. Et les résultats sont transmis aux infirmières du service, dûment formées au dépistage génétique familial, qui entreprennent alors un travail d'enquête, auprès des proches cette fois. « Nous contactons les familles par téléphone pour proposer un dépistage* », rapporte Annabelle Rajalu, l'une des infirmières.

Des maladies fréquemment transmises génétiquement

En effet, l'intérêt du diagnostic *post mortem* n'est pas uniquement d'établir les causes du décès mais aussi de servir à la prévention. Car si une enquête minutieuse n'est pas entreprise, chacun, dans la famille du défunt, aura tendance à invoquer la fatalité. Or d'autres décès brutaux peuvent survenir chez les frères, sœurs, enfants ou cousins, ces maladies étant fréquemment transmises génétiquement. « *Nous avons ainsi été spontanément contactés par une famille qui avait eu à déplorer 11 décès de jeunes adultes en trente ans !* », se souvient Vincent Probst. À Nantes, l'équipe de huit personnes (médecins, infirmières, coordinatrice...) suit ainsi des centaines de familles confrontées à la mort subite d'un proche. « *Rares sont les refus, même s'il peut être difficile pour elles de se replonger dans la douleur d'un deuil récent* », poursuit Annabelle Rajalu. L'objectif consiste alors à réaliser des arbres généalogiques les plus précis possibles en proposant aux apparentés du premier degré (parents, enfants, fratrie) une recherche génétique à partir d'un examen sanguin et un bilan cardiologique très complet, le tout étant réalisé lors d'une hospitalisation de jour : ▸

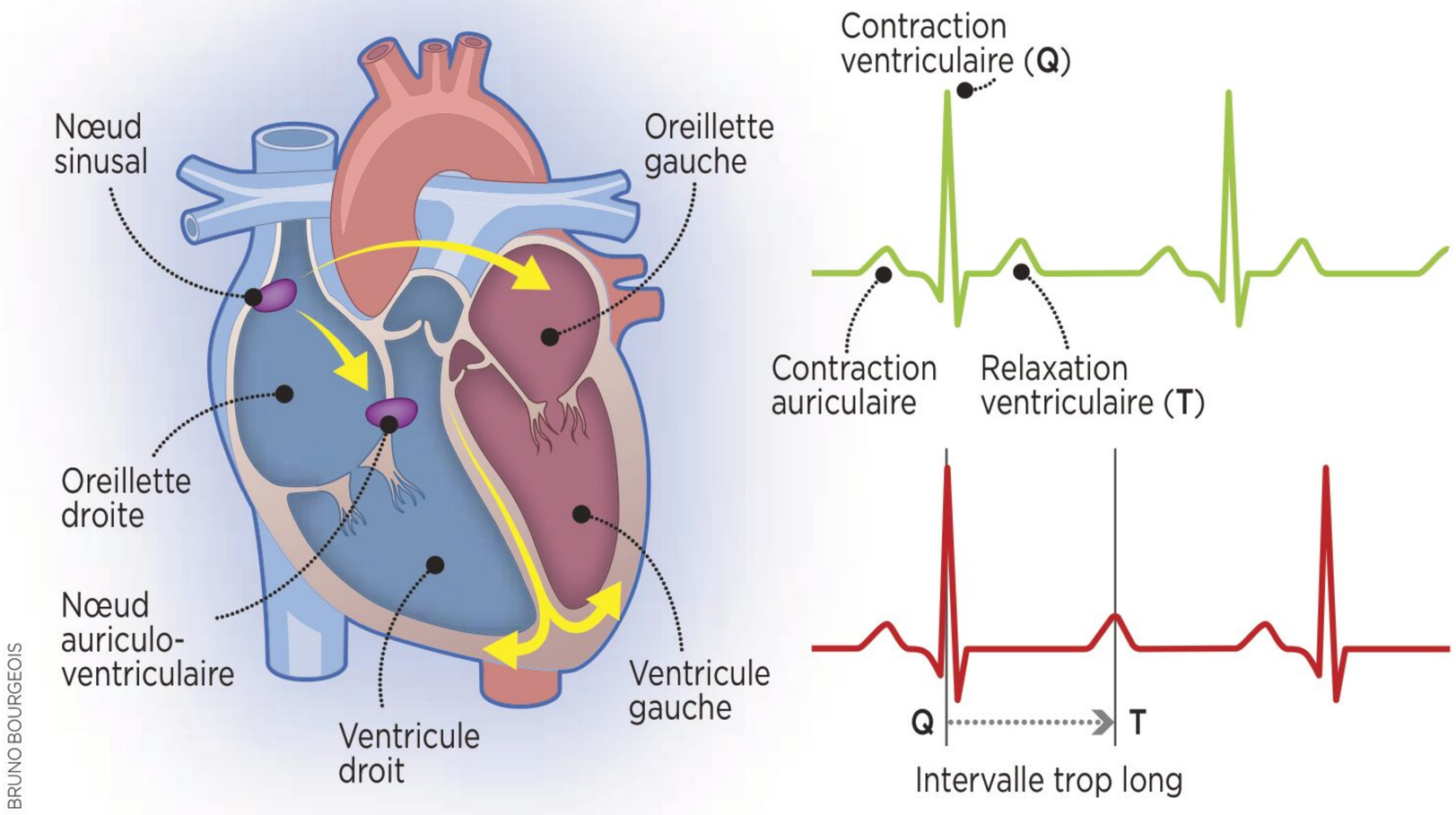
Des mutations génétiques sont introduites avec l'outil CRISPR-Cas9 dans des cellules contractiles du cœur (cardiomyocytes) humaines, afin d'étudier leur impact potentiel sur les pathologies menant à la mort subite.

électrocardiogrammes (ECG) de repos et d'effort, échographie cardiaque, sans oublier certains tests médicamenteux avec l'injection de molécules (ajmaline, adrénaline) capables de révéler l'existence d'un trouble électrique. « *Nous avons aussi mis en place un test dit de stress que nous effectuons pendant la réalisation même de l'ECG*, détaille l'infirmière, *car certains troubles électriques ne se révèlent que dans ces situations.* » Une fois l'ensemble des données réunies, « *il faut croiser analyse clinique et génétique mais la corrélation entre les deux n'est pas toujours au rendez-vous* », précise Vincent Probst, certains patients présentant des anomalies cliniques non corroborées par la génétique et inversement. « *Mais dans plus de 50 % des cas, mettre en place une étude familiale permet d'identifier une mutation en cause* », insiste Julien Barc, généticien et chercheur Inserm de l'équipe, récemment récompensé par le Prix Descartes-Huygens pour ses travaux sur les origines génétiques de la mort subite.

L'espoir d'un test sanguin pour mesurer le risque

Pour expliquer l'autre moitié des cas, une analyse plus poussée du génome est réalisée à l'aide d'un séquenceur de dernière génération. Elles vont permettre d'explorer les régions dites non codantes responsables, pour partie, de la régulation des gènes. Les mutations ainsi identifiées chez les victimes font ensuite l'objet de manipulations en laboratoire : elles sont introduites, à l'aide des « ciseaux génétiques » CRISPR-Cas9, dans des cardiomyocytes humains. Ces cellules musculaires sont obtenues à partir de cellules souches sanguines de patients et de volontaires sains. Ces véritables cœurs battants mis en culture permettent de disposer de tissu cardiaque sans avoir recours à des biopsies et d'étudier ainsi l'impact des mutations sur leur fonctionnement. « *Nous avons aussi*

Un exemple de trouble du rythme : le syndrome du QT long



L'électrocardiogramme permet de repérer une anomalie des influx électriques (flèches jaunes) dans le cœur. Un intervalle trop long (en rouge) signale un trouble du rythme comparé au tracé normal (en vert).

Julien Barc, chercheur Inserm à l'institut du Thorax (à gauche), espère pouvoir mettre au point un test sanguin génétique qui permettrait d'évaluer le risque de mort subite dans la population.

démontré qu'il est parfois nécessaire d'accumuler plusieurs mutations génétiques pour développer ces pathologies. Celles-ci sont en lien avec certains gènes (SNS5A, SNS10A, HEY2...) qui régulent les échanges d'ions sodium entre les cellules cardiaques ou participent au développement du cœur », rapporte Julien Barc. Le chercheur espère d'ailleurs parvenir à mettre au point un test sanguin qui permettrait, par simple analyse génétique, d'évaluer le risque dans la population générale et non plus uniquement chez les proches des victimes de mort subite.

DIAGNOSTIC

Un handicap invisible

Été 2005. Hugo, un garçon de 12 ans alors en pleine santé, fait un malaise au cours d'une baignade. *« Pendant plusieurs minutes, il était gris, je l'ai cru mort. Et puis il est revenu »*, se souvient sa mère. Après un premier diagnostic erroné d'épilepsie, le suivi médical et l'enquête familiale identifieront en quelques mois un syndrome dit du QT long, un trouble du rythme cardiaque *(voir l'infographie ci-contre)*. Héréditaire, cette pathologie est alors détectée aussi chez d'autres membres de la famille, dont la mère et la sœur. *« Le handicap étant invisible, ces maladies sont souvent source d'exclusion pour ceux qui en sont atteints »*, regrette Françoise Pelissier, présidente de l'Association des maladies héréditaires du rythme cardiaque (Amryc)* qui soutient, informe et accompagne les familles concernées.

*85, avenue de Ségur, 75015 Paris. www.amryc.org

« Il est possible de prévenir le risque de récidive chez les personnes qui ont pu parfois être réanimées à temps et chez les membres de leur famille en mettant en place une surveillance. Même s'il n'existe pas encore de traitement curatif, surveillance et prévention sont d'ores et déjà proposées aux familles concernées », détaille Vincent Probst. Cela consiste, par exemple, à éviter la prise de certains médicaments cardiotoxiques (antiarythmiques, vasodilatateurs, antibiotiques...) mais aussi de ne plus pratiquer de sports aquatiques — pour éviter la noyade en cas de malaise — et, bien sûr, la compétition sportive. Parfois, les médecins peuvent aussi envisager la pose sous la peau d'un défibrillateur automatique implantable (DAI), l'équivalent en miniature de ceux que l'on trouve désormais dans les espaces publics. *« Ils sont programmés pour administrer automatiquement un choc électrique en cas de détection d'une anomalie du rythme par le dispositif* », précise Vincent Probst. *« Il n'est jamais trop tard* », insiste Annabelle Rajalu. ■

Sylvie Riou-Milliot.
Reportage photo :
Thomas Louapre /Divergence pour Sciences et Avenir-La Recherche

www.filiere-cardiogen.fr

PÉDIATRIE

Le cas particulier du nourrisson

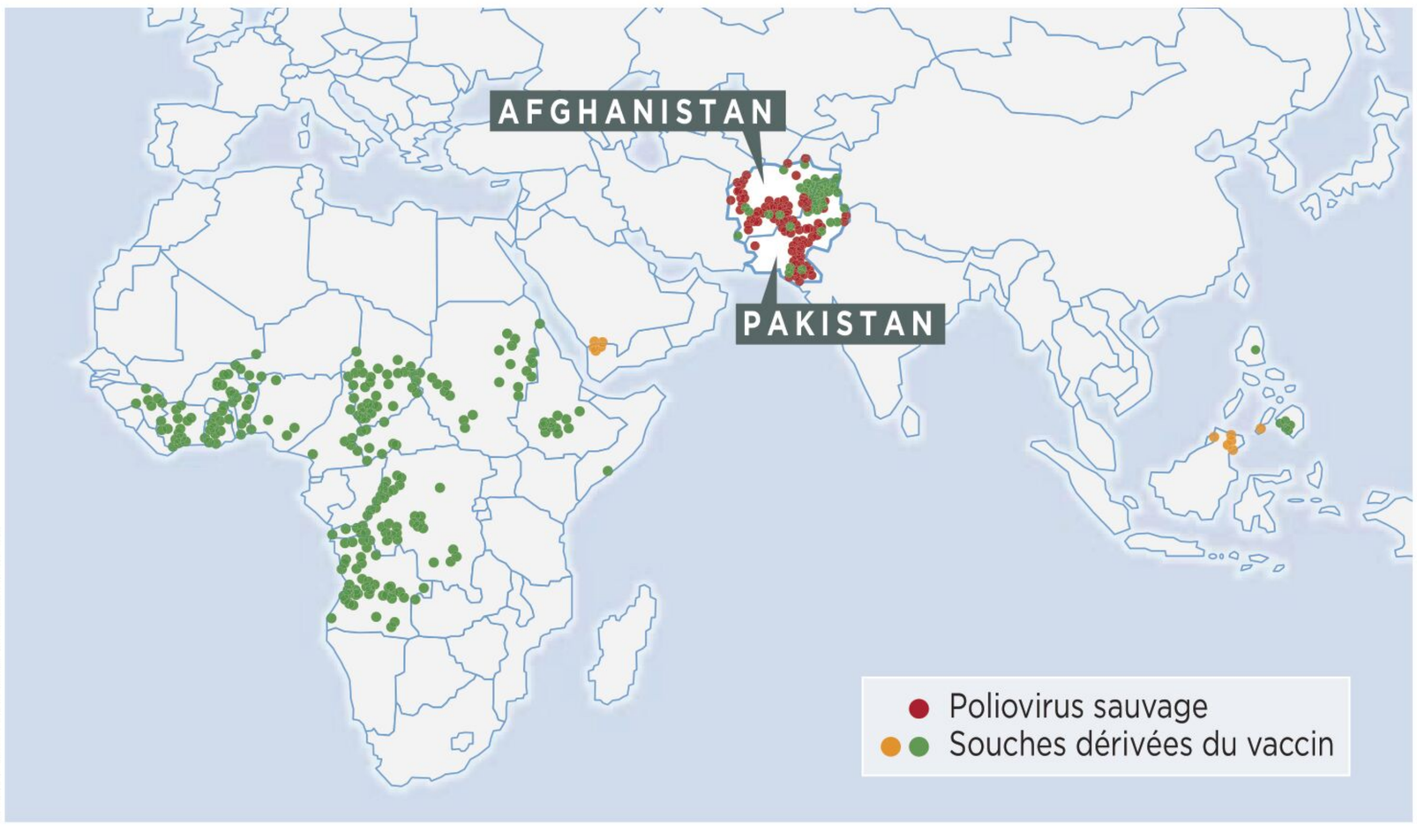
MIN : Trois lettres pour désigner la mort inattendue du nourrisson, soit près de 400 cas par an en France. Malgré la baisse observée grâce aux campagnes de prévention, la MIN demeure la principale cause de décès des bébés âgés de 1 mois à 1 an. Mais entre 50 et 70 % de ces décès restent à ce jour inexpliqués. Un Observatoire national français des MIN (OMIN) a été mis en place en 2015 par le CHU de Nantes, en collaboration avec l'Association nationale des Centres référents de la mort inattendue du nourrisson (ANCReMIN). Celle-ci regroupe 35 centres référents répartis sur le territoire. Le principal facteur de risque identifié à ce jour demeure la position ventrale qui favorise l'étouffement, d'où la nécessité de coucher les bébés sur le dos. Mais environ 5 % des cas seraient en lien avec une hyperactivité du nerf vague, responsable de syncopes, selon des travaux français publiés dans *Public Library of Science* en 2019. *« Nous avons mis en évidence le lien entre les syncopes et la surexpression au niveau des cellules cardiaques d'une enzyme censée réguler des récepteurs dits muscariniques. C'est la première étude qui apporte une preuve biologique d'une hyperactivité vagale* », détaille le Dr Angelo Livolsi, cardiopédiatre à Strasbourg, l'un des auteurs. Son équipe espère maintenant mettre au point un test sanguin pour détecter cette surexpression de l'enzyme chez les nouveau-nés et ainsi mieux les surveiller.

L'éradication des maladies, un très long jeu de patience

L'OMS a déclaré en août l'élimination du virus de la polio sur le continent africain. Un combat de plusieurs décennies qui rappelle la difficulté de la mise en place de mesures sanitaires et de la vaccination à grande échelle contre des infections pourtant bien connues.

LA PORTÉE DE L'ANNONCE A ÉTÉ MONDIALE. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a déclaré voici quelques semaines l'élimination officielle du poliovirus sauvage (PVS) sur le continent africain. Il y a seulement cinq ans, trois souches de ce virus responsable de la poliomyélite (couramment appelée « polio ») circulaient encore (PSV1, PSV2 et PSV3). L'une a été éliminée en 2015, l'autre en 2019 et la dernière au cours de l'été dernier, à chaque fois après quatre années passées sans aucun cas rapporté. « *C'est l'une des plus grandes réalisations de santé publique de notre temps !* » s'est réjoui Tedros Adhanom Ghebreyesus, directeur d'une OMS durement touchée par la crise du Covid-19. Un aboutissement majeur pour le programme mondial d'éradication démarré 32 ans plus tôt, en 1988, à une époque où, dans 125 pays différents, 350 000 cas annuels de poliomyélite étaient encore recensés. Les plus jeunes ont presque oublié cette redoutable infection virale : avec des porteurs asymptomatiques dans 90 % des cas et une transmission par les eaux souillées, elle s'est répandue par vagues successives tout au long du XX^e^ siècle. Les 10 % de cas symptomatiques concernent surtout des enfants de moins de 5 ans, chez qui l'infection se traduit par une attaque de la moelle épinière conduisant à une paralysie progressive des membres inférieurs et parfois des voies respiratoires, entraînant la mort. L'annonce de l'OMS a pourtant été ternie quelques jours plus tard par un communiqué décomptant dans l'est et le sud-ouest du Soudan « *au moins 13 nouveaux cas de poliomyélite* ». Patatras ? « *Pas du tout !* réagit le Pr Francis Delpeyroux, spécialiste des poliovirus à l'Institut Pasteur à Paris, *car il s'agit de cas associés à des souches dérivées du vaccin et non du virus sauvage.* »

Seuls l'Afghanistan et le Pakistan comptent encore une souche sauvage du virus circulant dans certaines zones inaccessibles aux campagnes de vaccination. Les souches vaccinales sont plus faciles à faire disparaître.



BRUNO BOURGEOIS. SOURCE : OMS

Des cas de polio issus de souches vaccinales

En effet, la plupart des cas de poliomyélite sont aujourd'hui dus à l'évolution des souches vaccinales, non dangereuses au départ, mais qui, en circulant d'individu en individu, ont peu à peu muté pour retrouver ce caractère pathogène. Les souches « sauvages » ayant bien été éliminées d'Afrique. Une telle distinction ne revient-elle pas à jouer sur les mots ? Pas tout à fait. Certes, les secondes ne circulent plus qu'en Afghanistan et au Pakistan — 204 cas recensés — où les islamistes empêchent toute campagne de vaccination. Et 607 cas d'origine vaccinale sont encore enregistrés dans 25 pays, en Afrique, au Moyen-Orient et en Indonésie. Toutefois, la cinétique des souches pathogènes dérivées du vaccin (PVDVc) est très différente et s'apparente à un phénomène résiduel. Car il faut au

Vaccination contre la polio au Tadjikistan en 2010, année où ce pays a connu une flambée de cas.

NOZIM KALANDAROV / REUTERS

moins un an avant qu'un virus vaccinal ait le temps de muter pour redevenir pathogène. Or, pour effectuer cette mutation, il lui faut circuler entre humains… ce qui est possible uniquement dans une population dont la couverture vaccinale s'est relâchée. Ainsi, à ce jour, en Amérique du Sud ou en Inde, les PVDVc ont été rapidement éliminés par le maintien des vaccinations.

« *L'annonce de l'OMS est remarquable à au moins deux titres*, poursuit Francis Delpeyroux. *L'objectif était à portée de main depuis vingt ans, car ce sont toujours les derniers cas dans les zones les plus reculées qui sont les plus difficiles à atteindre ; et c'est bien que ce soit enfin fait !* » Le spécialiste se réjouit surtout de la qualité du réseau de surveillance en Afrique, en dépit d'un contexte géopolitique souvent très tendu qui n'a pas empêché le recensement des cas, l'acheminement des prélèvements jusqu'aux laboratoires de séquençage et la qualification des infections, sauvages ou non. « *Réussir à mettre en place un tel système est formidable. Car au-delà de la poliomyélite, cette élimination en dit beaucoup sur les capacités du continent africain en matière de contrôle des maladies infectieuses.* »

Si les spécialistes parlent d'« élimination » plutôt que d'« éradication » de la poliomyélite, c'est que ces termes ne sont pas équivalents en épidémiologie. L'éradication — soit la disparition totale d'une maladie infectieuse de la surface du globe — implique en effet que les mesures de contrôle ne sont plus nécessaires. À ce jour, la variole est ainsi la seule maladie humaine effectivement éradiquée depuis tout juste 40 ans. Le virus subsiste uniquement dans les frigos de deux laboratoires spécialisés dans le monde, au confinement renforcé. Passer de l'élimination à l'éradication est de fait un jeu de patience, tant les étapes sont longues, les dernières étant les plus difficiles. L'aboutissement étant rarissime.

D'autres maladies, considérées comme « éradicables », ont fait ainsi l'objet de programmes, mais la plupart ont échoué. La fièvre jaune, au début du XX^{e} siècle, s'est révélée avoir un réservoir animal (singe), ce qui a rendu vain tout espoir de voir le virus disparaître puisqu'il peut toujours réémerger. Les efforts déployés contre le paludisme depuis 1955 se sont heurtés, quant à eux, à l'apparition imprévue de résistances du parasite aux traitements. Une première tentative ▶

INSTITUT PASTEUR

« Ce sont les derniers cas qui sont les plus difficiles à atteindre »

Francis Delpeyroux, spécialiste des poliovirus à l'Institut Pasteur, à Paris (unité de biologie des virus entériques, Inserm U994)

VACCINATION

Pour en finir avec la rougeole

VOISIN/PHANIE

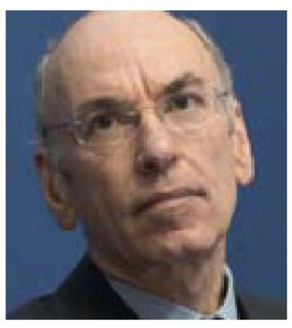
Le vaccin ROR (rougeole, oreillons, rubéole) est obligatoire en France.

Les virus de la rubéole et de la rougeole sont des candidats idéaux à l'éradication : ils sont stables génétiquement, leurs vaccins sont très efficaces et ils ne disposent pas de réservoir autre qu'humain. L'objectif affiché par l'OMS en 2012 était d'ailleurs d'en être débarrassé en 2020. Las ! c'était compter sans la défiance vaccinale très forte qui persiste dans le monde, y compris dans des pays développés. En particulier contre le vaccin de la rougeole qui souffre toujours d'une réputation créée de toutes pièces par une fraude scientifique avérée l'accusant en 1998 d'augmenter le risque d'autisme chez les enfants. La maladie étant bénigne dans 90 % des cas, à quoi bon se vacciner s'interrogent également les opposants ? Pourtant, en 2018, plus de 140 000 personnes sont mortes de la rougeole dans le monde, selon l'OMS et les Centres de contrôle et de prévention des maladies américains (CDC) (contre 2,6 millions de morts en 1980). Des décès survenus alors que le nombre de cas explosait dans le monde entier, avec des épidémies dévastatrices dans toutes les régions, y compris en France, où le vaccin est devenu obligatoire depuis 2018. Il faut dire que cette maladie est de loin la plus contagieuse au monde, ce qui complique la tâche. Là où chaque malade de la poliomyélite infecte en moyenne six autres personnes lors d'une épidémie, la rougeole en contamine en moyenne 15 à 20. De sorte que pour empêcher le virus de circuler, il faut qu'au moins 95 % d'une population donnée soit vaccinée, contre 80 à 85 % pour la polio. En France, lors de la flambée épidémique de 2008, seuls 44 % des enfants de 6 ans avaient reçu la deuxième dose du vaccin… Autrement dit, pour éradiquer une maladie, encore faut-il que tous les humains le veuillent vraiment.

d'éradiquer le pian, une maladie, due à une bactérie (*Treponema pallidum*), chronique de l'enfance, défigurante et débilitante, a eu lieu entre 1952 et 1964 : grâce à un traitement d'une semaine à la pénicilline, une réduction des cas de 95 % a été constatée, faisant espérer à l'OMS une disparition de la maladie… en 2020 ! *A priori*, c'est encore raté… Mais l'espoir demeure. Viennent désormais deux autres cibles majeures : la rougeole et la rubéole pour lesquelles le vaccin est particulièrement bien adapté à l'éradication *(lire l'encadré ci-dessus)*.

Ce sont à chaque fois les derniers cas qui représentent un défi colossal. « *Le ratio coût/efficacité croît de manière exponentielle dans la phase ultime tant que l'éradication n'est pas atteinte* », explique le Pr Daniel Lévy-Bruhl, responsable de l'unité des infections respiratoires et vaccination de Santé publique France. La question se pose parfois de préférer le contrôle à très bas bruit des maladies plutôt que la tentative de les faire disparaître. D'un point de vue éthique aussi, ce spécialiste notait en 2015 qu'à l'approche d'une éradication, « *les bénéfices de la vaccination augmentent pour la société mais diminuent pour l'individu* ». En effet, « *au niveau individuel, les coûts — incluant les effets secondaires — peuvent finir par dépasser les bénéfices* ». Des travaux de modélisations ont en effet montré qu'il était théoriquement impossible d'atteindre l'éradication d'une maladie si les personnes se comportaient rationnellement dans une perspective individuelle. Car la balance bénéfices/risques de se faire vacciner contre une maladie presque disparue peut alors devenir défavorable. L'éradication ne se légitime ainsi que par la tranquillité offerte aux générations futures. « *C'est le rôle de l'OMS et des valeurs qui l'ont vu naître, la santé pour tous, concrète, sans exception, jusqu'aux derniers éleveurs isolés du Sahel* », insiste de son côté Francis Delpeyroux. À ne pas oublier à l'heure où l'OMS est vivement remise en question pour sa gestion du Covid-19. ■

Hugo Jalinière @HugoJaliniere



SIPA

« Le ratio coût/bénéfice croît de façon exponentielle dans la dernière phase tant que l'éradication n'est pas atteinte »

Pr Daniel Lévy-Bruhl, épidémiologiste, responsable de l'unité des infections respiratoires et vaccination Santé publique France.

L'étonnant pouvoir apaisant de la peau

Le contact peau contre peau entre un parent et un nourrisson réduit fortement la douleur dans le cerveau du bébé.

LA PEAU AURAIT UN POUVOIR APAISANT extraordinaire sur le cerveau du bébé. Telle est la belle découverte qui a été faite à l'University College de Londres (Royaume-Uni) et à l'université York, à Toronto (Canada). L'étude, parue dans l'*European Journal of Pain*, montre que le contact « peau à peau », réduit, en effet, fortement le signal de douleur dans le cerveau des tout-petits. Pour découvrir cela, les scientifiques ont équipé 27 nourrissons (âgés de 0 à 96 jours et nés prématurément ou à terme) d'un casque à électrodes EEG (électroencéphalographie). Puis ils ont pratiqué un examen classique, dit test de Guthrie, qui permet de dépister des maladies rares à partir d'un échantillon de sang prélevé par une petite incision au talon. Pendant ce geste douloureux, les bébés, vêtus seulement d'une couche, étaient soit dans leur lit (sans contact), soit contre leur mère, habillée ou non.

« L'activité cérébrale peut fournir un autre regard plus direct sur la façon dont les nouveau-nés traitent la douleur », expose le docteur Lorenzo Fabrizi, de l'University College de Londres, coauteur de l'étude. Première observation : la piqûre au talon provoque dans le cerveau des nourrissons quatre à cinq vagues d'activité cérébrale.

MORITZ KÜSTNER / PLAINPICTURE

Favoriser le contact « peau à peau » notamment avec la mère augmenterait le bien-être du bébé.

« Le cerveau traite d'abord les informations physiques les plus élémentaires (comme la position, l'intensité et la durée du stimulus), poursuit Lorenzo Fabrizi, *puis viennent les informations plus complexes (la surprise, l'appréciation agréable ou non)*. » Et là, les scientifiques ont fait une observation surprenante : si les premières vagues d'activité cérébrale (élémentaires) sont similaires chez tous les bébés quel que soit le type de contact, les dernières (complexes) sont, elles, retardées et très atténuées lors d'un contact « peau à peau ». Bien que la question soit débattue, on peut en déduire que la douleur est alors diminuée chez le bébé.

« Nous savions que le contact "peau à peau" maternel était bon pour le développement du cerveau en général, mais nous ne savions pas si cela influencerait la façon dont le cerveau traite un stimulus nocif », poursuit Lorenzo Fabrizi. Preuve est faite !

Le contact libérerait une hormone « antalgique »

Pourquoi le contact peau contre peau affecte-t-il à ce point la réponse cérébrale ? Est-ce dû à l'échauffement corporel, au rythme cardiaque maternel perçu ou à sa respiration ? Nul ne le sait encore. *« On pourrait émettre l'hypothèse que le stimulus mécanique lié au contact tactile parent-enfant, entraîne la libération d'une neurohormone, l'ocytocine aux vertus antalgiques »*, souligne Alexandre Charlet, chercheur à l'Institut des neurosciences cellulaires et intégratives, à Strasbourg. En attendant, la découverte est importante car *« comprendre le développement du circuit de la douleur permettra au personnel médical et infirmier d'aider à prendre en charge les nouveau-nés »*, assure Lorenzo Fabrizi. Et le spécialiste de conseiller aux parents de favoriser le contact peau à peau avec bébé, pour un bien-être augmenté. ■ **Elena Sender**

@ElenaSender

Les courges font flamboyer l'assiette automnale

Peu caloriques et riches en fibres, ces légumes de la famille des cucurbitacées sont plébiscités pour leurs qualités nutritionnelles.

Potimarron, patidou, courges butternut ou spaghetti... Les cucurbitacées embellissent les étals dès l'automne et redonnent des couleurs à nos assiettes. Leur chair sucrée et fondante se décline de l'entrée au dessert et allège gratins, flans, tartes et purées. Plébiscitées pour leurs qualités nutritionnelles, elles parviennent même à rendre tendance la soupe de nos grands-mères. Et pas seulement pour Halloween ! Originaires d'Amérique où les graines étaient consommées par les Indiens, courges et potirons ont été introduits en Europe par les Portugais au XVIe siècle. En 1786, dans son *Essai sur l'histoire naturelle des courges*, l'agronome Antoine Nicolas Duchesne établit une classification précise de plus d'une centaine de spécimens, et, en 1860, le botaniste Charles Naudin différenciait plusieurs espèces et variétés de potirons. Aujourd'hui, 90 000 tonnes de potirons et de courges sont produites chaque année en France, dont 43 % en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 16 % en Auvergne-Rhône-Alpes et 9 % en Occitanie. Peu caloriques et riches en fibres, ces légumes-fruits se conservent de trois à six mois dans un endroit frais (10-12 °C).

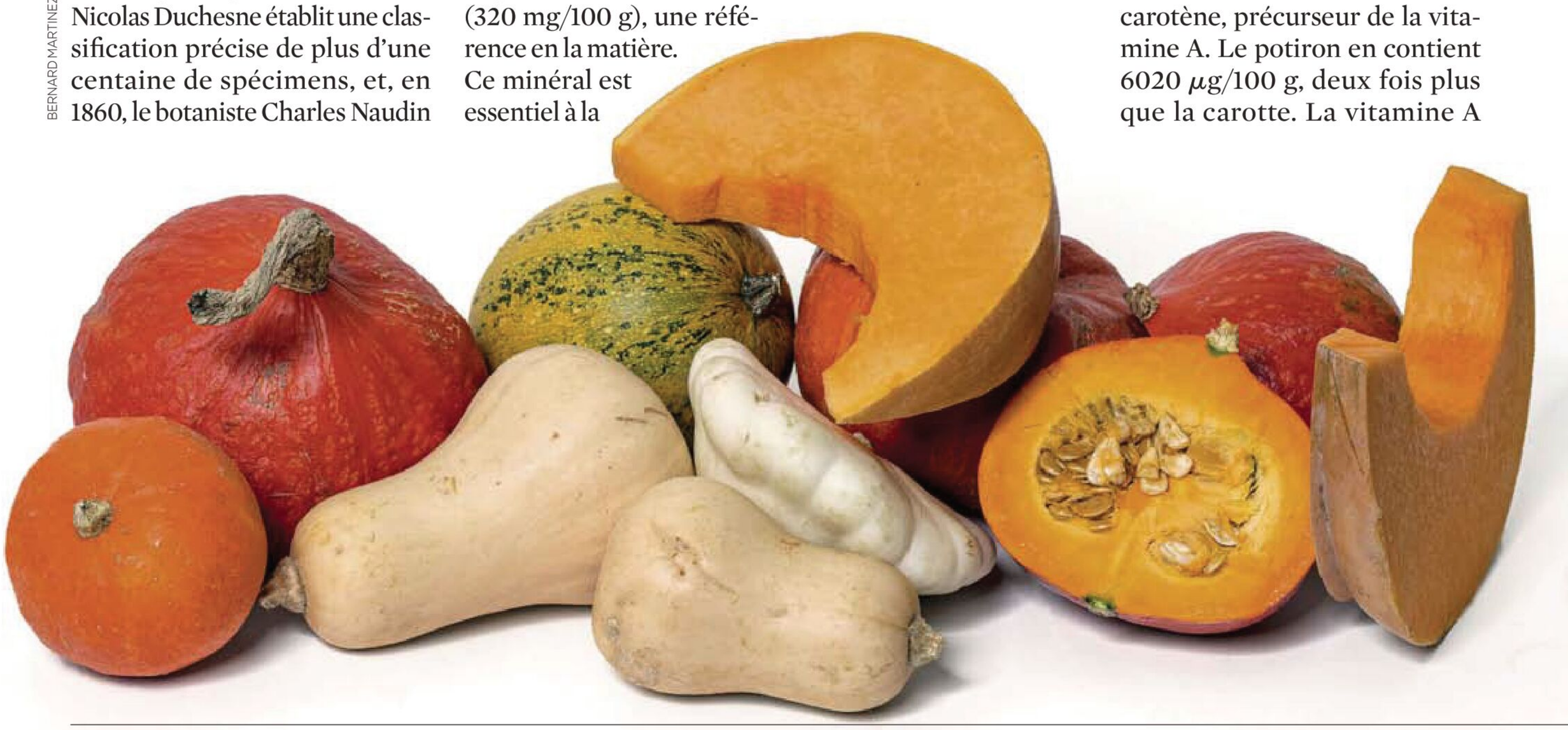
Une source de potassium plus importante que la banane

Le potimarron cuit fournit 430 mg/100 g de potassium, la butternut 352 mg/100 g et la courge musquée 340 mg/100 g, dépassant ainsi la banane (320 mg/100 g), une référence en la matière. Ce minéral est essentiel à la contraction musculaire, l'équilibre acido-basique de l'organisme ainsi qu'au bon fonctionnement des nerfs. Les courges renferment également des teneurs intéressantes en calcium (21 mg/100 g pour la courge spaghetti) et en phosphore (21 mg/100 g pour le potiron). Ce minéral assure la solidité des os et des dents.

1 kg
de courges et potirons
est consommé par ménage français et par an.
(SOURCE : KANTAR WORLDPANEL, 2017)

Elles renforcent l'immunité

La courge butternut est la plus riche en vitamine C (21 mg/100 g), laquelle renforce le système immunitaire. Une portion de 200 g cuite fournit ainsi près de la moitié des apports quotidiens recommandés. La couleur orangée des courges d'hiver témoigne de leur teneur élevée en bêta-carotène, précurseur de la vitamine A. Le potiron en contient 6020 µg/100 g, deux fois plus que la carotte. La vitamine A



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

CUCURBITACÉES Famille de plantes auxquelles appartiennent les courges. On y distingue notamment *Cucurbita moschata* (courge musquée et butternut), *Cucurbita pepo* (courge spaghetti, pâtisson, citrouille) et *Cucurbita maxima* (potimarron, potiron).

CAROTÉNOÏDES Pigments insolubles naturellement produits par les végétaux. On compte le bêtacarotène, le lycopène, la lutéine, la zéaxanthine et l'astaxanthine.

CHARGE GLYCÉMIQUE Paramètre prenant en compte l'indice glycémique (élévation de la glycémie suite à l'ingestion d'un aliment) et la quantité ingérée d'un aliment. Une charge glycémique inférieure ou égale à 10 est considérée comme basse. Supérieure à 20, elle est élevée.

est impliquée dans de nombreuses fonctions de l'organisme comme la croissance des cellules, le renouvellement des tissus (peau, muqueuse intestinale) et le bon fonctionnement du système immunitaire (1). L'huile de pépins de citrouille posséderait des propriétés antimicrobiennes en inhibant l'action de bactéries telles qu'*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ou encore *Staphylococcus aureus*. De plus, trois protéines de courges (MAP2, MAP4 et MAP11), ralentiraient la croissance des levures, telles que *Candida albicans* pouvant être responsables de mycoses (2).

Elles préservent la vue

Les courges renferment de la lutéine et de la xéaxanthine, deux pigments de la famille des caroténoïdes. Ces composés antioxydants se concentrent dans la macula, la zone centrale de la rétine et filtrent la lumière bleue, toxique pour l'œil. Des taux élevés de lutéine et de zéaxanthine dans la rétine réduiraient jusqu'à 82 % le risque de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), première cause de handicap visuel chez les personnes de plus de 50 ans, selon des travaux américains menés auprès de 112 personnes (3). Par ailleurs, une supplémentation de 10 mg de lutéine et de 2 mg de zéaxanthine pendant cinq ans abaisserait de 30 % le risque de cataracte par rapport à l'absence de complémentation (4).

Leurs graines sont protéinées

Avec 35 g/100 g, les graines de cucurbitacées sont les oléagineux les plus riches en protéines, devant la cacahuète (26 g/100 g) et l'amande (22,6 g/100 g). Assez caloriques (450 kcal/100 g) en raison de leur richesse en lipides (jusqu'à 49 g/100 g), elles contiennent principalement de l'acide linoléique ou oméga-6 (20,7 g/100 g), un acide gras polyinsaturé et de l'acide oléique ou oméga-9 (16 g/100 g), un acide gras mono-insaturé présent en grande partie dans l'huile d'olive. En revanche, contrairement aux graines de lin ou de noix, elles ne renferment quasiment pas d'acide linolénique (oméga-3). Les graines contiennent aussi des quantités intéressantes en zinc (7,81 mg/100 g) et en phosphore (1230 mg/100 g). En consommer une poignée (20 g) par jour couvre 35 % des besoins recommandés en magnésium et 20 % en cuivre. Les graines de citrouille exerceraient en outre une action vermifuge contre le ténia, qui se développe dans l'intestin grêle humain (5).

Attention, certaines sont toxiques !

Attention à ne pas confondre les courges d'hiver comestibles avec celles à usage ornemental, les coloquintes, parfois vendues dans les rayons de fruits et légumes. Or ces dernières sont particulièrement toxiques en raison de leur teneur en cucurbitacines, une toxine irritante produite par la plante pour repousser les insectes nuisibles. La consommation de ces substances persistantes à la cuisson peut provoquer des intoxications alimentaires se traduisant par des douleurs digestives, des nausées, des vomissements, une diarrhée parfois sanglante voire une déshydratation sévère (6). Concernant les espèces habituellement comestibles, des cas de perte des cheveux (alopécie) ont été décrits : la présence de cucurbitacines est due à la pollinisation croisée accidentelle entre les deux espèces (7). Seul moyen de prévenir ce risque d'intoxication : goûter un petit morceau de courge et le recracher s'il présente un goût amer douteux. ■ **Sylvie Boistard**

CHARLINE WIRTH Diététicienne-nutritionniste, à Bordeaux

Elles sont bénéfiques pour les diabétiques

« Une portion de butternut contient environ 7 grammes de fibres, ce qui permet de contribuer aux 25 à 30 grammes recommandés quotidiennement. Il s'agit de pectine, qui, par son pouvoir gélifiant, contribue à modérer le taux de sucre sanguin après les repas et à réduire le taux de LDL-cholestérol en piégeant des graisses dans le tube digestif. Cette fibre soluble est douce pour les intestins, ce qui fait des courges une bonne alternative aux autres légumes d'hiver (choux, navets), particulièrement irritants. De plus, elles sont peu caloriques (25 kcal/100 g) et peu glucidiques (5 à 7 g/100 g), leur charge glycémique étant seulement de 10 pour une portion de 200 g. C'est donc un légume intéressant en cas de diabète de type 2. »

(1) Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques, Anses.

(2) Medicinal and biological potential of pumpkin : an updated review, Yada M. et al, *Nutrition Research Reviews*, 2010.

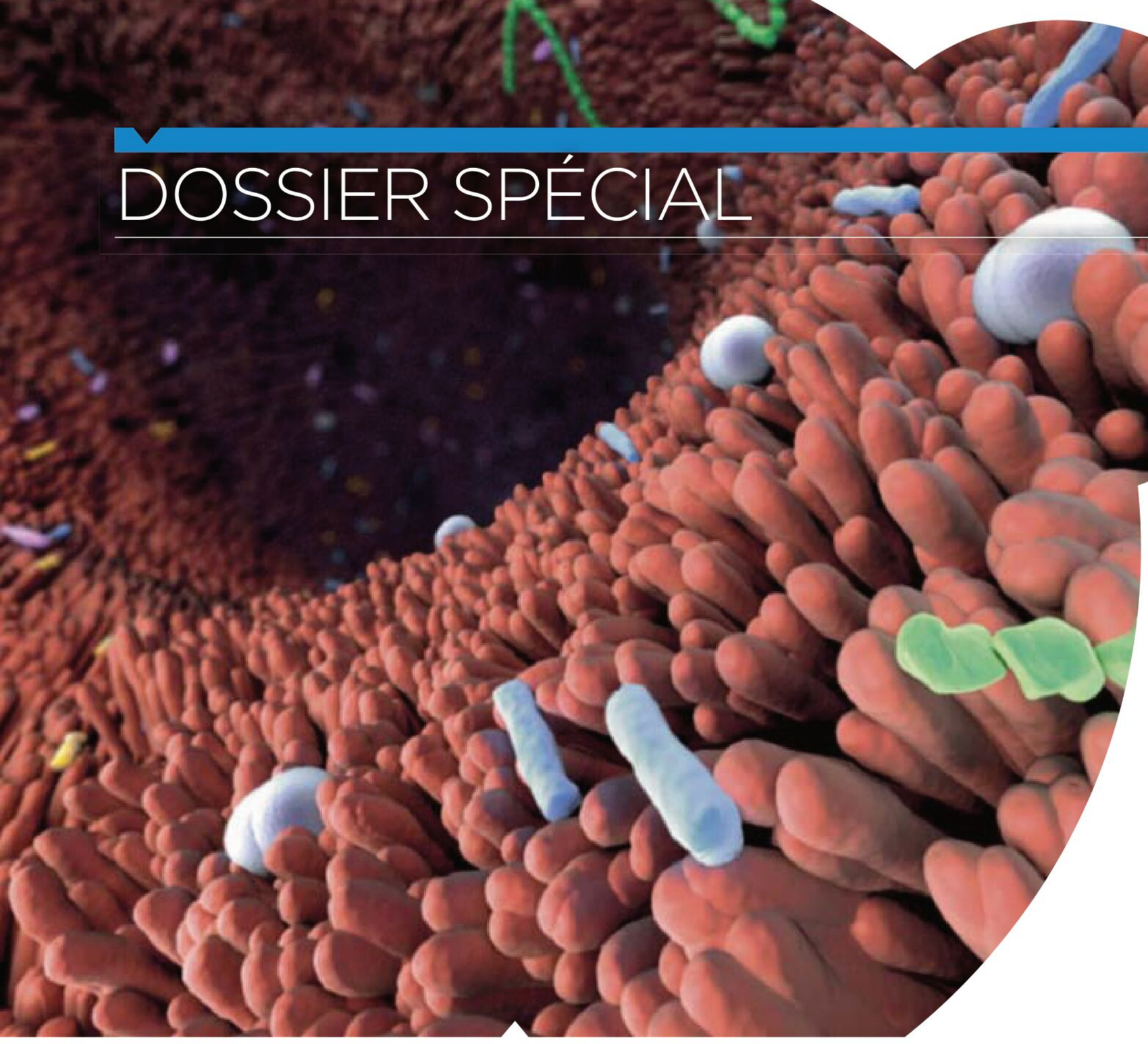
(3) Macular pigment in donor eyes with and without AMD : a case-control study., Bone RA, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2001.

(4) The beneficial role of lutein and zeaxanthin in cataracts, Maci S. et al, *Nutrafoods* 2015.

(5) Usefulness of pumpkin seeds combined with areca nut extract in community-based treatment of human taeniasis in northwest Sichuan province, China, Li T. et al, *Acta Tropica*, 2012.

(6) Attention aux courges amères ! Anses, 2019.

(7) Hair Loss Associated With Cucurbit Poisoning, Assouly P., *Jama Dermatology*, 2018.



Le microbiote intestinal est composé de milliers de milliards de bactéries, mais aussi de champignons unicellulaires (levures) et de virus, qui représentent au total un millier d'espèces différentes (vue d'artiste).

Cinq questions pour comprendre la digestion

Ce processus complexe est essentiel à notre santé. Lorsque des troubles surviennent, ils pèsent sur notre vie quotidienne et peuvent avoir des conséquences à long terme.

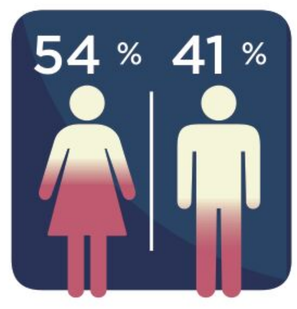
Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

1 Quelles sont les différentes étapes de la digestion ?

Ce long processus de transformation mécanique et chimique des aliments prend un à deux jours pour parcourir les 8 mètres de l'ensemble de l'appareil digestif. Tout commence dans la bouche, grâce à la mastication qui fragmente les aliments et à la salive qui les lubrifie. Cette étape facilitera la digestion. Le cheminement se poursuit dans l'estomac, où les aliments demeurent pendant une à six heures, selon l'importance et la composition du bol alimentaire. C'est notamment là que les protéines sont dégradées en plus petites briques nutritionnelles appelées acides aminés.

SCIENCE PHOTO LIBRARY

48 %
des Français affirment souffrir d'au moins un trouble digestif



TROUBLES LES PLUS FRÉQUEMMENT DÉCLARÉS

Douleurs abdominales

Gaz

FACE À UN TROUBLE DIGESTIF

17 %
des personnes n'y prêtent pas attention

29 %
attendent simplement que ça passe.

SOURCE : SONDAGE IFOP, 2017

Le chyme — le liquide qui sort de l'estomac — transite ensuite pendant quatre à cinq heures dans l'intestin grêle. La décomposition des aliments s'y poursuit, grâce aux enzymes essentiellement produites par le foie et le pancréas. L'objectif étant d'obtenir du glucose. C'est là aussi que s'opère l'essentiel de l'absorption des nutriments. La dernière étape — et aussi la plus longue — a lieu dans le côlon : les fibres et autres éléments qui n'ont pas été digérés progressent et sont peu à peu déshydratés pour former les selles.

2 Comment absorbons-nous les nutriments ?

L'intestin grêle est l'organe le plus important du système digestif. Il mesure en moyenne 6 mètres de long, et ses parois forment de très nombreux replis (villosités), elles-mêmes formées de microvillosités. De sorte que la surface de contact, et donc d'absorption des nutriments au niveau de la paroi intestinale, représente 200 m² ! Glucides, lipides et protéines sont réduits en petites molécules capables de traverser les membranes des cellules intestinales et de rejoindre la circulation sanguine. Selon leur nature, les nutriments sont ensuite utilisés directement par l'organisme ou stockés, par exemple les sucres sous forme de glycogène dans le foie et les muscles, les lipides dans les tissus graisseux.

3 Quel rôle joue le microbiote intestinal ?

Dans notre côlon se trouve un « organe » de près de 2 kg qui n'est ni palpable ni visualisable par imagerie médicale. Sans lui, nous

Bruits et sifflements d'oreille

Bourdonnement, tintement, sifflement… Ces bruits sont perçus dans l'oreille sans qu'aucun son n'existe réellement. Moralement et physiquement épuisants, ils peuvent véritablement gâcher la vie.

Acouphènes

Ils sont le plus souvent liés à une perte d'audition ou une mauvaise irrigation sanguine de l'oreille interne, mais leur origine peut aussi être mécanique (torticolis, bouchon de cérumen), traumatique (exposition à un son fort) ou encore psychique (le cerveau interprète mal les signaux du nerf auditif). Il est très difficile d'identifier la cause d'un acouphène, et donc de le soulager efficacement.

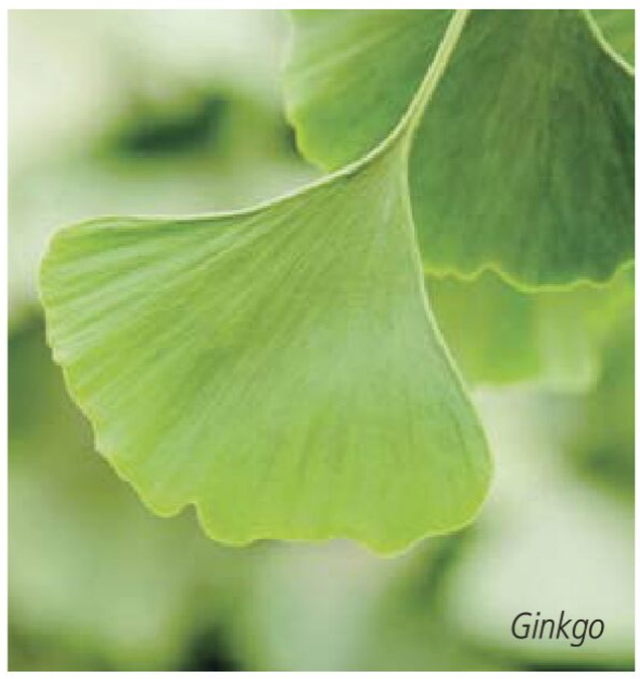
Vivre avec ses gênes auditives

Les générateurs de bruit blanc, la thérapie d'habituation ou encore l'ostéopathie peuvent aider à mieux supporter les gênes auditives, voire à les atténuer. Des produits de santé à base de plantes, tel que **tone**, apportent également une aide naturelle et saine.

Protéger son capital auditif

Développé il y a près de 15 ans par les laboratoires de recherche végétale danois New Nordic, **tone** est une formule naturelle pour préserver l'audition et lutter contre les bruits d'oreille.

tone contient des extraits de Galanga et de Myrtille fortement antioxydants, associés à du Ginkgo qui stimule la microcirculation sanguine et favorise une bonne audition.



Ginkgo

Chaque comprimé apporte aussi du Magnésium qui contribue à maintenir un bon équilibre électrolytique au sein de l'oreille, facilitant la transmission des signaux entre le nerf auditif et le cerveau, ainsi que de la Niacine qui participe au bon fonctionnement du système nerveux.

tone contient enfin de la Vitamine C pour diminuer la fatigue qui accompagne souvent les bruits et sifflements d'oreille.

tone est disponible en pharmacie et parapharmacie. Il est reconnaissable au logo en forme d'arbre argenté de New Nordic, gage de sa qualité supérieure et de sa naturalité.

Une invention suédoise

Sur la base des dernières avancées scientifiques, les laboratoires de recherche végétale New Nordic ont inventé **tone** : un comprimé aux ingrédients fortement concentrés (Sarrasin, Myrtilles, Galanga, Houblon, Vit. B3,C, Magnésium) et contenant en particulier du Ginkgo qui contribue au maintien d'une bonne audition.

Galanga

Disponible en pharmacie et espace diététique

tone™
PRÉSERVER L'AUDITION

tone 60 et 180 cp sous les codes **ACL 608 74 56** et **601 67 94.**
Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 41 32 77 (tarif local) ou sur **www.vitalco.com**

ne pourrions pas survivre. C'est le microbiote intestinal, composé de milliers de milliards de bactéries, mais aussi de champignons unicellulaires (levures) et de virus, qui représentent au total un millier d'espèces différentes. Ce microbiote dégrade des aliments complexes que notre système digestif est incapable de digérer, comme les fibres végétales contenues dans les fruits, légumes et céréales, la pectine ou certains sucres complexes tels les amidons dits résistants. Diverses espèces bactériennes interviennent à tour de rôle, et les transforment en molécules qui nous sont indispensables comme les acides gras à chaîne courte ou les vitamines B et K.

4 Pourquoi les fibres sont si importantes pour notre système digestif ?

Les fibres jouent d'abord un rôle important dans la sensation de satiété : plus un repas en est riche, plus nous nous sentons rassasiés car elles créent du volume. Par ailleurs, les fibres aident la progression du bol alimentaire tout au long du système digestif et facilitent donc le transit. Enfin et surtout, elles nourrissent le microbiote intestinal, favorisent sa diversité et son fonctionnement. Et celui-ci est aussi un facteur important de bonne santé, notamment parce qu'il stimule notre système immunitaire.
En France, nous n'ingérons que 17,5 g de fibres par jour en moyenne, alors que les recommandations sont de 25 g au moins ! Parmi les aliments riches en fibres, et qui luttent notamment contre la constipation, on trouve les céréales complètes, les figues et pruneaux, l'artichaut et les haricots rouges.

INTERVIEW

DR PAULINE JOUËT

GASTRO-ENTÉROLOGUE À L'HÔPITAL AMBROISE-PARÉ (AP-HP, BOULOGNE-BILLANCOURT).

« Des troubles sans rapport avec les allergies alimentaires »

P. JOUËT

De quels maux digestifs se plaint-on le plus souvent ?
Reflux, brûlures gastriques, lenteur à la digestion, douleurs abdominales, ballonnements, constipation… Ces symptômes, fréquents, touchent chacun 10 à 20 % de la population. Il s'agit de troubles fonctionnels qui n'ont pas de cause pathologique, et qui surtout n'ont rien à voir avec des allergies alimentaires. Mais ce n'est pas parce qu'ils sont banals qu'ils doivent être pris à la légère ! Ils peuvent affecter la qualité de vie au quotidien.

Comment en diminuer la fréquence ?
Il faut prendre le temps de manger trois vrais repas par jour, s'asseoir, mastiquer et boire suffisamment. Et bien sûr avoir une alimentation équilibrée, c'est-à-dire riche en fruits et légumes et ne contenant pas trop de graisses et de sucres. Et faire attention aux édulcorants qui perturbent le microbiote intestinal et sont difficiles à digérer.

Doit-on arrêter de manger du lactose et du gluten ?
On peut supprimer les produits laitiers pendant une semaine et voir si les troubles s'atténuent. Certaines personnes ont en effet du mal à digérer le lactose. Mais la suppression complète du gluten n'est quant à elle pas conseillée par les gastro-entérologues. Beaucoup de personnes se sentant soulagées en évitant le gluten le sont en réalité parce qu'en supprimant le pain, les pâtes et autres produits céréaliers, elles diminuent leur apport en sucres complexes (ou hydrates de carbone), qui peuvent être difficiles à digérer. Dans tous les cas, il ne faut pas opter pour des régimes trop restrictifs et éviter les aliments industriels ultratransformés. ■

Propos recueillis par É. G.

5 Troubles digestifs, comment réagir ?

Ballonnements, reflux, douleurs intestinales… il arrive fréquemment que nous ressentions ce genre de symptômes. Rien d'inquiétant ! Si les douleurs sont importantes, buvez beaucoup d'eau — elle facilite le transit intestinal —, et prenez éventuellement un antispasmodique. Si les symptômes perdurent plus de 48 heures, sont récurrents ou vous empêchent de poursuivre vos activités habituelles, consulter votre médecin traitant. Il faut réagir rapidement si ces signes s'accompagnent de nausées et vomissements, de fièvre, de difficultés à uriner, d'une peau ou d'un blanc de l'œil présentent une coloration jaune inhabituelle, de constipation et d'absence de gaz, ou si les selles contiennent du sang. Enfin, si la douleur est soudaine et très violente, si vous faites un malaise, vomissez du sang ou un liquide brunâtre, si votre ventre est très dur et contracté, si vous avez des difficultés à respirer, si la douleur s'étend à la poitrine ou au bras gauche, contactez sans tarder un service médical d'urgence (le 15 ou le 112). ■

NOVARTIS

Psoriasis : une maladie qui peut aussi toucher les articulations

En France, 2,4 millions de personnes souffrent de psoriasis. Parmi celles confrontées à une forme en plaques, 30 % développeront un rhumatisme psoriasique, une inflammation responsable de douleurs et de gonflements des articulations. Les explications du Dr Nicolas Bruno, Directeur médical Immunologie, Hépatologie et Dermatologie chez Novartis.

Pouvez-vous nous expliquer ce qu'est un psoriasis ?

Le psoriasis est une maladie de peau inflammatoire chronique affectant principalement la peau et due à une stimulation immunitaire des cellules de la peau. Cette maladie se manifeste par une accélération anormale du renouvellement des cellules de l'épiderme et leur accumulation à la surface de la peau entraîne la formation de plaques rouges. Ces plaques de tailles et de localisations variables sont recouvertes de squames blanchâtres qui se détachent facilement.

Mais la peau n'est pas la seule partie du corps pouvant être touchée…

En effet ! Le psoriasis est une maladie systémique, c'est à dire qu'il peut agir à différents endroits de l'organisme. Ainsi, des atteintes extra-cutanées et notamment des atteintes articulaires peuvent apparaître. Les chiffres montrent que 30 % des patients atteints de psoriasis développeront un rhumatisme psoriasique. Il s'agit là d'une inflammation et de déformations de certaines articulations se manifestant alors par des gonflements, des raideurs matinales, des douleurs articulaires et une mobilité réduite.

Existe-t-il des patients qui s'ignorent ?

15 % des patients atteints de psoriasis auraient un rhumatisme psoriasique non diagnostiqué. Et l'on sait aussi qu'un retard de diagnostic de six mois seulement peut aggraver l'évolution globale de la maladie. Aujourd'hui, on estime que chez environ 1 patient sur 3, le psoriasis (peau et ongles particulièrement) peut s'accompagner d'un rhumatisme psoriasique…

Or, les patients atteints d'un psoriasis en plaques ne savent pas toujours qu'ils peuvent aussi développer ce type de rhumatisme…

Il est vrai que le lien étroit pouvant exister entre ces deux maladies est aujourd'hui encore trop peu connu des patients. C'est pourquoi, aux côtés de l'association de patients France Psoriasis, nous souhaitons sensibiliser les patients à ce risque avec la campagne « Le psoriasis ne se limite pas à ma peau ». L'idée est de leur dire : si vous ressentez des douleurs articulaires, c'est peut-être un signe de rhumatisme psoriasique, et il est important d'en discuter lors de votre consultation car, prise en charge tardivement, cette maladie est susceptible d'entraîner des lésions articulaires irréversibles. Il est donc essentiel de sensibiliser les patients aux symptômes du rhumatisme psoriasique pour initier le dialogue avec le dermatologue et améliorer leur prise en charge, le rhumatisme psoriasique étant, en outre, une maladie chronique évolutive pour laquelle des traitements existent. ■

La parole à Roberte Aubert,

Présidente de l'association France Psoriasis

« Il est primordial pour une personne atteinte de psoriasis cutané de connaître l'existence de la forme rhumatismale pour en référer à son dermatologue, et de bénéficier d'un diagnostic et d'une prise en charge rapide et adaptée de façon conjointe avec le rhumatologue. La précocité de cette dernière étant d'autant plus décisive que le rhumatisme psoriasique peut occasionner des destructions articulaires irréversibles s'il n'est pas soigné. »

Pour en savoir plus : www.francepsoriasis.org

I456173 – 10/20

L'engagement de Novartis

Engagé de longue date afin de réinventer la médecine pour améliorer et prolonger la vie des gens, Novartis utilise des technologies scientifiques et numériques innovantes pour créer des avancées thérapeutiques dans les domaines où les besoins médicaux sont importants. Avec sa campagne « Le psoriasis ne se limite pas à ma peau », le laboratoire propose des outils pédagogiques destinés aux patients atteints de psoriasis et leurs proches : 5 affiches, une brochure, une vidéo didactique sur la maladie ainsi que des témoignages. L'ensemble des outils de la campagne est disponible sur le site **www.bienvivremapeau.fr**

Entretien avec...

Dermatologie : les grands progrès thérapeutiques !

Toutes maladies confondues, en France, on estime à 16 millions le nombre de personnes touchées par des maladies de peau. Les explications du Pr Marie Beylot-Barry, dermatologue et Présidente de la Société Française de Dermatologie.

Quelles sont les maladies dermatologiques les plus fréquentes, et celles qui ont fait l'objet de grandes avancées ?

Le psoriasis, l'acné, l'eczéma et l'urticaire sont les plus régulièrement citées. Mais elles ne sont pas les seules, il y a aussi le vitiligo, la pelade ou encore la maladie de Verneuil. Le point positif est que certaines de ces pathologies ont connu des avancées considérables dans leur prise en charge grâce à l'arrivée de biothérapies : c'est le cas pour le psoriasis, et cela commence pour la dermatite atopique, pour ses formes les plus sévères. C'est une bonne nouvelle car ces maladies chroniques sont affichantes et invalidantes avec un lourd impact sur la qualité de vie personnelle, professionnelle et sociale. Des progrès considérables ont aussi été réalisés dans le domaine de la cancérologie cutanée. Longtemps, nous avons été démunis face au mélanome de stade métastasique, mais depuis les années 2010, grâce aux immunothérapies et thérapies ciblées, la survie des patients s'est très nettement améliorée, même si beaucoup reste à faire.

La recherche en dermatologie se fixe-t-elle des priorités ?

Il n'y a pas d'enveloppe dédiée à une pathologie plutôt qu'une autre. La SFD soutient aussi bien la cancérologie que les dermatoses inflammatoires ou encore infectieuses grâce à un budget annuel compris entre 800 000 et 1 million d'euros. Notre fonds de dotation nous permet d'envisager de soutenir des projets de recherche sur des problématiques peu explorées jusqu'ici, comme par exemple l'impact de l'environnement sur la peau, des pathologies de contact à certains cancers. Dans un autre registre, nous souhaitons valoriser le rôle de l'intelligence artificielle dans l'aide au diagnostic. Enfin, nous sommes en train de finaliser une application qui sortira en fin d'année et qui vise, grâce à ses algorithmes basés sur les recommandations récentes dans les dermatoses chroniques, à fournir très rapidement une aide à la décision face à un patient donné et une situation donnée. Comme pour les autres spécialités, le leitmotiv en dermatologie est de proposer le bon traitement au bon patient. ■

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02
gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Victoire Lissajoux
Maquette : Sylvie Bisson

SANOFI GENZYME

Dermatite atopique : comprendre l'inflammation de type 2 et mettre fin à l'errance diagnostique des patients

Pour les patients souffrant de dermatite ou d'eczéma atopique, le parcours de soins reste complexe. Il est même question d'errance diagnostique. Mais de nouvelles connaissances sur l'origine de cette maladie pourraient bien changer la vie des malades...

© Miguel Rosan

En France, la dermatite atopique concerne plus de deux millions d'adultes[1], ce qui en fait la seconde maladie de peau la plus fréquente chez les plus de 15 ans, après l'acné[2]. Et dans la tranche des 12-17 ans, elle touche 700 000 adolescents dont environ 22 000 souffrent d'une forme sévère et invalidante[3]. Invalidante et « affichante » en se manifestant par des démangeaisons persistantes intenses, des rougeurs et des lésions cutanées récurrentes pouvant se surinfecter et couvrir tout ou partie du corps[4, 5]. De fait, elle altère énormément la qualité de vie par ses symptômes physiques importants mais aussi en ayant des répercussions sur la vie familiale, sociale, et même professionnelle. Pour les patients, c'est donc la double peine : aux démangeaisons quotidiennes, s'ajoutent un sommeil altéré et même des signes d'anxiété et de dépression. Près de 20 % rapportent ainsi des idées suicidaires[6]. Par ses poussées chroniques, la dermatite atopique affecte les patients jusqu'à 192 jours par an[7].

Comment expliquer la dermatite atopique ?

La dermatite atopique est une maladie inflammatoire chronique de la peau due à une anomalie de la réponse immunitaire et à une déficience de la barrière cutanée[1, 8]. Or, ces perturbations de la barrière cutanée vont favo-

riser la pénétration de substances irritantes et d'allergènes qui vont stimuler la réponse immunitaire cellulaire. Un phénomène qui va alors déclencher une inflammation non contrôlée associée notamment à la production d'interleukines, dont IL-4 et IL-13, des cytokines majeures dans le mécanisme inflammatoire chronique. Dès lors, des signes visibles se déclenchent comme les lésions cutanées, mais aussi des symptômes qui ne se voient pas comme le prurit [9].

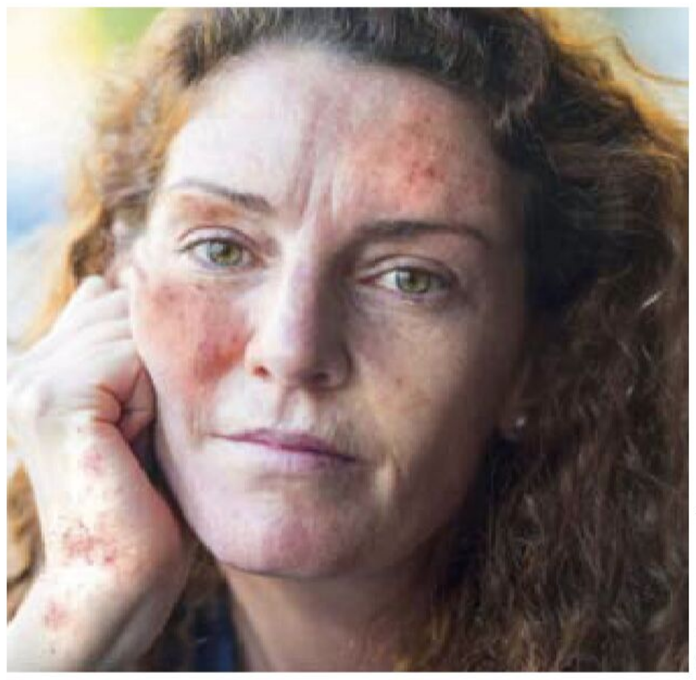
Dans cette maladie, le patient va passer de phases de poussées (augmentation de l'étendue et de l'intensité des lésions [10, 11]) à des phases d'accalmie.

C'est une maladie à la physiopathologie complexe et multiple qui implique à la fois des facteurs immunologiques, génétiques, environnementaux ainsi que le microbiome cutané[1, 8]. Elle est aussi souvent associée à d'autres maladies atopiques comme l'asthme, des allergies ou une polypose nasosinusienne[12, 13] : pour lesquelles l'inflammation dite de « type 2 » est caractérisée (*voir encadré*).

© AboutnuyLove

De nouvelles sources d'espoir ?

Malgré les évolutions de prise en charge, le parcours de soins des patients reste chaotique. Il faut encore compter en moyenne une à deux années avant d'aboutir à un diagnostic précis [14]. D'où l'importance d'être bien orienté et de consulter un dermatologue hospitalier dans les formes les plus sévères afin d'accéder à la prise en charge la plus adaptée. Aujourd'hui, en effet, grâce à de récentes avancées thérapeutiques dans certaines formes de dermatite atopique, il est possible de mieux traiter les patients pour peu que la maladie soit bien appréhendée et comprise. Mais le progrès est en marche... ■



© Juanmonino

Pour en savoir plus :
www.dermatite-atopique.fr

Et si c'était une maladie inflammatoire de type 2 ?

L'inflammation de type 2 correspond à une réponse hyperactive du système immunitaire [15] et se caractérise par une surproduction de cytokines de type 2 (IL-4, IL-13, IL-5), responsables d'une cascade de phénomènes inflammatoires en cause dans la dermatite atopique et autres manifestations atopiques associées[16, 17]. Des recherches scientifiques récentes montrent que plusieurs maladies atopiques, allergiques et inflammatoires se caractérisent par une inflammation de type 2 [15, 18]. Ainsi, jusqu'à 50 % des patients souffrant de dermatite atopique ont un asthme associé.[19, 20]. Dans le cas d'un patient atteint de plusieurs maladies inflammatoires de type 2 simultanément, la prise en charge devient pluridisciplinaire et se complexifie. D'où la nécessité absolue de comprendre leur origine pour trouver le traitement optimal.

(1) Hello M et al. Dermatite atopique de l'adulte. Rev Med Interne. 2016 Feb;37(2):91-99

(2) Richard MA et al. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2018 Nov;32(11):1967-1971

(3) Rapport EPI-CARE sur l'épidémiologie des enfants atteints de dermatite atopique en France

(4) 3NIH "Handout on Health: Atopic Dermatitis (A type of eczema) 2013," [Online]. Available: http://www.niams.nih.gov/Health_Info/Atopic_Dermatitis/default.asp.

(5) Leung DYM and Guttman-Yassky E. Deciphering the complexities of atopic dermatitis: shifting paradigms in treatment approaches. J. Allergy Clin. Immunol 2014;134:769–779

(6) Simpson E et al. J Am Acad Dermatol. 2016 Mar;74(3):491-8

(7) Données issues de l'étude française ECL-Ados (Évaluation de l'impact de la dermatite atopique chez les adolescents et leur famille), menée par la société EMMA ; 2020

(8) Weidinger S et al. The Lancet 2016 March 12, 387(10023):1109-1102

(9) Gittler JK, et al. J Allergy Clin Immunol. 2012 Dec;130(6):1344-1354

(10) Taieb A. Poussées de dermatite atopique : définitions et causes. Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique 2008;48:192–5

(11) Société Française de Dermatologie. https://dermato-info.fr/fr/la-peau-de-l'enfant/la-dermatite-atopique

(12) Barbarot S et al. Allergy. 2018;73:1284-1293 (19)

(13) Zuberbier T et al. J Allergy Clin Immunol 2006;118: 226-32

(14) Étude de marché Kantar health – Juillet 2016 – sur 380 patients français souffrant de DAS

(15) Gandhi NA et al. Targeting key proximal drivers of type 2 inflammation in disease. Nat Rev Drug Discov 2016;15(1):35-50

(16) Dinh-Xuan AT. La mesure de la FeNO dans l'asthme : pour une utilisation raisonnable et généralisée. La Lettre du Pneumologue 2018; XXI(6):388-92

(17) Fulkerson PC et al. Targeting Eosinophils in Allergy, Inflammation and Beyond. Nat Rev Drug Discov

(18) J. W. Steinke and J. M. Wilson, "Aspirin-exacerbated respiratory disease: pathophysiological insights and clinical advances.," Journal of Asthma and Allergy, vol. 9, pp. 37-43, 2016

(19) C. Philpott, S. Erskine and C. Hopkins, "Prevalence of asthma, aspirin sensitivity and allergy in chronic rhinosinusitis: data from the UK National Chronic Rhinosinusitis Epidemiology Study," Respiratory Research, vol. 19, p. 129, 2018. (22)

(20) H. Won, Y. Kim and M. Kang, "Age-related prevalence of chronic rhinosinusitis and nasal polyps and their relationships with asthma onset," Ann Allergy Asthma Immunol, vol. 120, no. 4, pp.389-394, 2018

Wounded Knee : un archéologue français mène l'enquête

Lors d'une terrible confrontation, plus de 300 Indiens ont été tués en 1890 par l'armée américaine, dans des circonstances encore troubles. Pour comprendre les ressorts de ce drame, un spécialiste français des Celtes va effectuer des analyses sur le terrain.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

AKG IMAGES

Les sioux Lakotas — hommes, femmes et enfants — ont été massacrés après avoir été rassemblés à Wounded Knee, dans le Dakota du Sud, pour être transférés dans le Nebraska (ici, les corps ramassés sur le lieu du drame).

L'HIVER, LA NEIGE RECOUVRE la stèle. Mais la plupart du temps, la chaleur rend la pierre anthracite brûlante. Perdue au milieu des vastes plaines du Dakota du Sud (États-Unis), elle est le seul vestige mémoriel d'une tragédie qui n'est toujours pas enseignée dans les livres scolaires des jeunes Américains. Pourtant, elle rappelle le plus grand massacre perpétré sur le sol des États-Unis à la fin du XIXe siècle ! Les Sioux Lakotas ont eux-mêmes érigé ce monument, en 1903, pour graver à jamais le nom de 186 de leurs morts, abattus par les soldats du 7e régiment de cavalerie américain à Wounded Knee (« Genou blessé ») au cœur des Grandes Plaines, à l'est des montagnes Rocheuses. Les historiens estiment aujourd'hui que plus de 300 hommes, femmes, enfants et nourrissons furent massacrés la nuit du 29 décembre 1890 au cours de ce qui ne devait être, à l'origine, qu'une opération de transfert de population. Comment, précisément, en est-on arrivé à cette tuerie ?

CONTEXTE

On appelle Guerres indiennes l'ensemble des conflits qui ont opposé les colons européens puis les gouvernements successifs des États-Unis et du Canada aux populations amérindiennes entre 1778 et 1890. Bien qu'aucun d'entre eux n'ait été officiellement déclaré par le Congrès des États-Unis, l'armée américaine a ainsi été en guerre contre les peuples amérindiens durant presque tout le XIXe siècle. Wounded Knee est historiquement considéré comme l'événement qui a mis fin à plus d'un siècle d'affrontements.

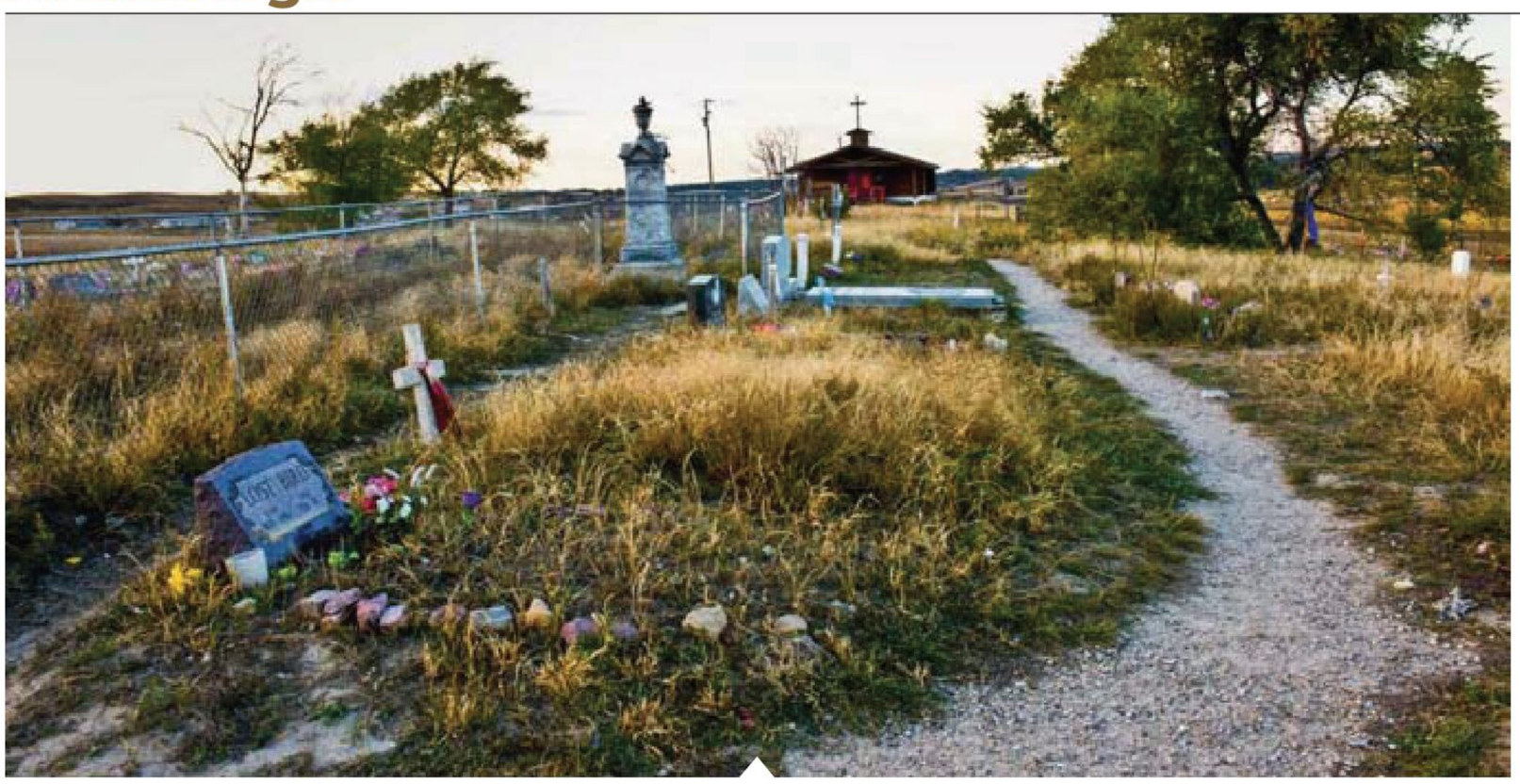
BRUNO BOURGEOIS

Confronter sur le terrain les versions divergentes

Cent trente ans après les faits, c'est pour répondre à cette question que l'archéologue Laurent Olivier, chercheur au CNRS et conservateur au musée d'Archéologie nationale de Saint-Germain-en-Laye (Yvelines), vient de mettre en place un important projet de recherche qui débutera l'année prochaine pour une durée de trois ans. Objectif : étudier la « scène de crime » pour confronter, sur le terrain, les versions divergentes de l'armée américaine et des Lakotas. « *L'archéologie dispose aujourd'hui de méthodes non invasives qui permettent de localiser et identifier des vestiges invisibles en surface*, explique le spécialiste. *Le lidar, par exemple, permet de détecter toutes les microvariations du sol, signalant des structures enfouies. Et les prospections géophysiques décèlent des concentrations de débris métalliques enterrés (balles, armes...) Nous pourrons ainsi déterminer à quels endroits des sondages pourraient être effectués.* »

Laurent Olivier travaillera en collaboration avec des archéologues locaux et des représentants des tribus Lakotas des régions de Pine Ridge, Rosebud, Cheyenne River et Standing Rock. En 2019, lors d'un premier voyage, ce spécialiste des Celtes a pu en effet rencontrer Tawa Duchenaux, directrice du Centre historique de l'Oglala College de Kyle (Dakota du Sud), ainsi qu'Alex White Plume, ancien président du Conseil tribal Oglala Lakota, tous enthousiastes à l'idée de telles recherches. « *L'histoire de ces groupes est proche de celle vécue par les Gaulois qui sont aussi des peuples de guerriers colonisés*, précise l'archéologue qui explique ainsi sa passion pour l'histoire indienne. *Il faut maintenant faire parler le sol.* »

Pour comprendre, il faut revenir à cet hiver 1890. Les Sioux Lakotas, au bord de la famine, vivent alors retranchés sur les dernières terres qu'il leur reste. Mais, influencés par un mouvement messianique diffusé par le biais d'une « danse des Esprits » (*Ghost Dance*), ils sont persuadés que les Blancs vont bientôt disparaître et les troupeaux de bisons revenir. Les fermiers-colons, de ▸



GETTY IMAGES

Une stèle a été érigée en 1903 à l'emplacement de la fosse commune où furent inhumées les victimes du massacre et autour de laquelle s'est depuis développé un petit cimetière.

plus en plus nombreux dans la région, craignent des troubles et demandent le soutien de l'armée pour retrouver les propagateurs de cette rumeur. Et c'est ainsi que le 28 décembre, le 7e régiment de cavalerie américain, appuyé par une batterie de quatre canons, encercle plus de 300 guerriers lakotas et leurs familles de la tribu Lakota Miniconjou, provenant de Cheyenne River. Parmi eux figurent une trentaine de survivants de la tribu de Sitting Bull, le héros victorieux de la célèbre bataille de Little Big Horn contre le général Custer (1876) et le même 7e régiment de cavalerie, ainsi que des Lakotas Hunkpapas venant de la réserve de Pine Ridge. Les soldats — qui sont à 75 % des novices — les rassemblent sur le site de Wounded Knee, avec pour mission de les convoyer par train dès le lendemain vers la réserve d'Omaha (Nebraska), à 400 km de là. Des journalistes sont présents pour assister à ce qu'ils nomment *« la reddition des Sioux »*. Mais au moment où les soldats commencent à vouloir désarmer les guerriers, un incident fait tout basculer.

Selon l'armée — qui produira de nombreux rapports pour justifier le massacre et les 30 morts qu'elle comptera dans ses rangs — un tir accidentel serait à l'origine du carnage. D'où provenait-il ? Mystère. Toujours est-il que, selon les militaires, les Lakotas auraient aussitôt fait feu, entraînant la riposte meurtrière. *« La véracité de cette version reste à établir »*, explique Laurent Olivier. En effet, si les soldats américains ont réellement essuyé des tirs ennemis nourris, les relevés de terrain devraient livrer une grande quantité de balles de Winchester 73, l'arme fétiche des Indiens. En revanche, si les soldats, dans l'affolement et la confusion, ont lancé l'offensive contre des familles entières, le sol devrait être majoritairement couvert de balles de fusils réglementaires Springfield, ce que l'examen des projectiles devrait établir. *« Il est possible aussi que la reconnaissance du site réserve des surprises, en révélant par exemple l'existence de vestiges dont la mémoire n'a pas été transmise »*, ajoute Laurent Olivier.

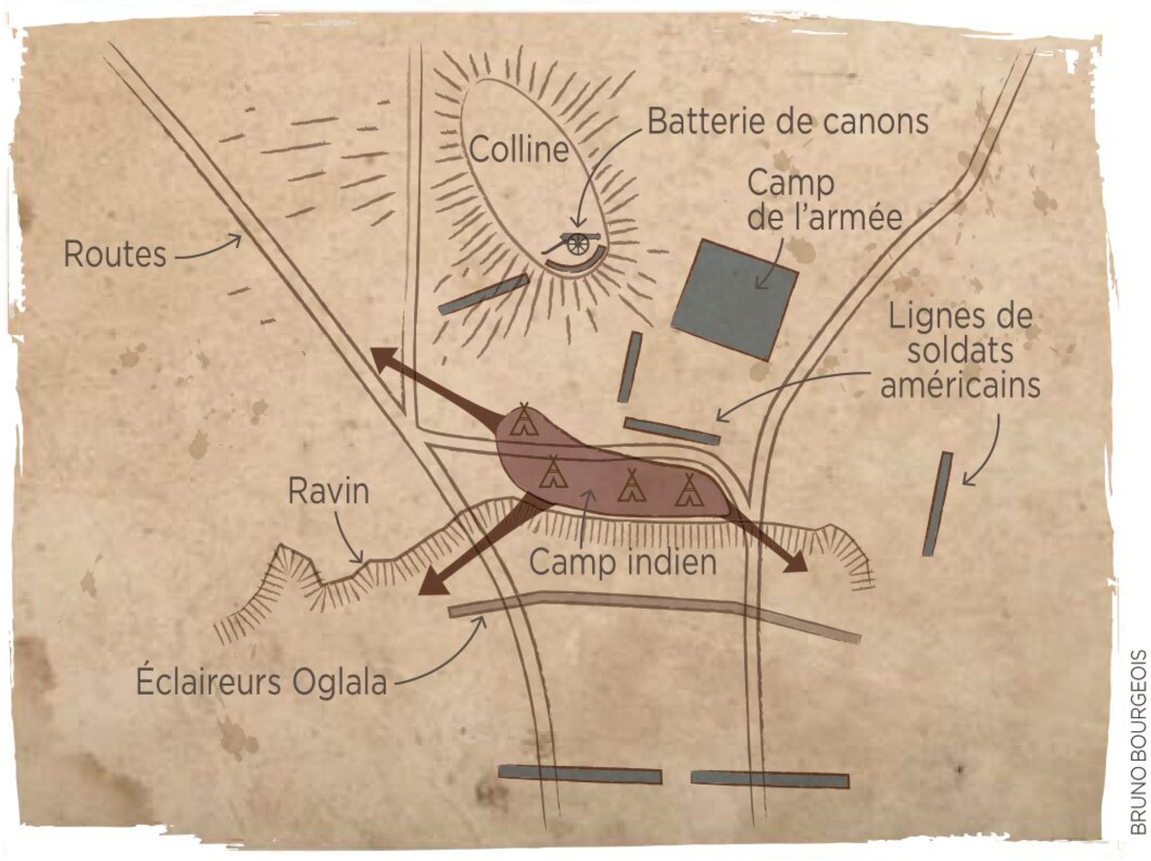
Une blessure qui reste béante

À l'issue du massacre, de très nombreux trophées humains ont été collectés par les soldats (scalps, tresses...) qui se sont retrouvés, au fil du temps, dans des musées ou chez des collectionneurs privés. Plus de 200 de ces macabres souvenirs — qui peuvent être considérés comme des pièces à conviction — ont d'ores et déjà été localisés par l'équipe dans des musées des États du Nebraska et de l'Iowa, ainsi qu'au prestigieux Smith-

RECONSTITUTION

Déroulement d'un massacre

Au petit matin du 29 décembre 1890, les troupes américaines commencent l'opération de transfert des Sioux Lakotas qui doivent être convoyés en train jusqu'au Nebraska. Plusieurs compagnies de cavaliers, fortes de 50 hommes chacune, encerclent le camp. Des éclaireurs et interprètes oglalas (une des 7 sous-tribus lakotas), recrutés par l'armée, les assistent. Une centaine de guerriers lakotas (106 hommes) sont alors séparés du reste du groupe afin qu'ils déposent leurs armes. C'est lors de cette manœuvre, au moment du désarmement, qu'un coup de feu accidentel aurait été tiré, dont l'origine reste à ce jour indéterminée. S'ensuit un échange de tirs nourris. La batterie de canons ouvre le feu, tuant hommes, femmes et enfants qui, pris de panique, tentent de fuir (flèches brunes). Entre 300 et 350 Indiens sont tués lors de ce massacre. Leurs corps seront jetés dans une fosse.



BRUNO BOURGEOIS

BETTMANN/GETTY IMAGES

Un membre de l'American Indian Movement (AIM) à Wounded Knee en 1973. Les Indiens sioux Oglalas et les militants de l'AIM occupent ce site symbolique — très vite cerné par le FBI et la Garde nationale — pour protester contre la corruption et les violences policières. Le siège va durer 71 jours.

sonian Institute, à Washington. « *La législation dite NAGPRA*, promulguée dans les années 1990, contraint les institutions à restituer les objets cérémoniels en leur possession* », poursuit le spécialiste.
L'enquête préparatoire a aussi fait émerger des liens oubliés entre les Indiens Lakotas et les pionniers européens, notamment français, occultés par le récit américain de la Conquête de l'Ouest : « *De très nombreux patronymes sont d'origine française… Beaucoup de Ducheneaux, Robideau et autres Bissonnette sont là pour nous rappeler combien de "coureurs des bois" ou de trappeurs originaires de France s'étaient établis dans les Grandes Plaines entre le XVII^e^ et le XIX^e^ siècle, où ils avaient fondé une famille* ».

Tous ces éléments expliquent que les responsables de la tribu Lakota attendent beaucoup de cette enquête archéologique. « *Jusque dans les années 1940, les survivants du massacre et leurs familles ont tenté, en vain, d'obtenir réparation auprès du gouvernement américain. Car cette blessure reste béante* », explique Laurent Olivier. D'autant qu'un second drame est venu s'agréger au premier à Wounded Knee, celui du mouvement de contestation de l'American Indian Movement en 1973. Pendant 71 jours, pour protester contre la corruption des autorités et la brutalité de la police de la réserve de Pine Bridge, des Indiens ont occupé le site où leurs ancêtres avaient été exterminés et y ont été assiégés par le FBI et la Garde nationale. Cette fois-ci, leur résistance fut couronnée d'une victoire médiatique. Nombre de personnalités prirent fait et cause pour eux.
Certes, la situation des Indiens d'Amérique du Nord s'est depuis quelque peu améliorée, ces communautés disposant de leurs propres institutions, mais elles doivent toujours lutter pour la protection de leurs sites. En 2019, les Lakotas ont ainsi été confrontés à l'installation d'un pipe-line géant, qui a entraîné la destruction de plusieurs de leurs sites cultuels. « *Wounded Knee est le symbole d'une oppression qui se perpétue à travers les générations.* » Avec cette enquête qui débute, les Indiens voient renaître l'espoir que le Congrès américain émette autre chose que de simples « regrets ». ■

LAURENT OLIVIER

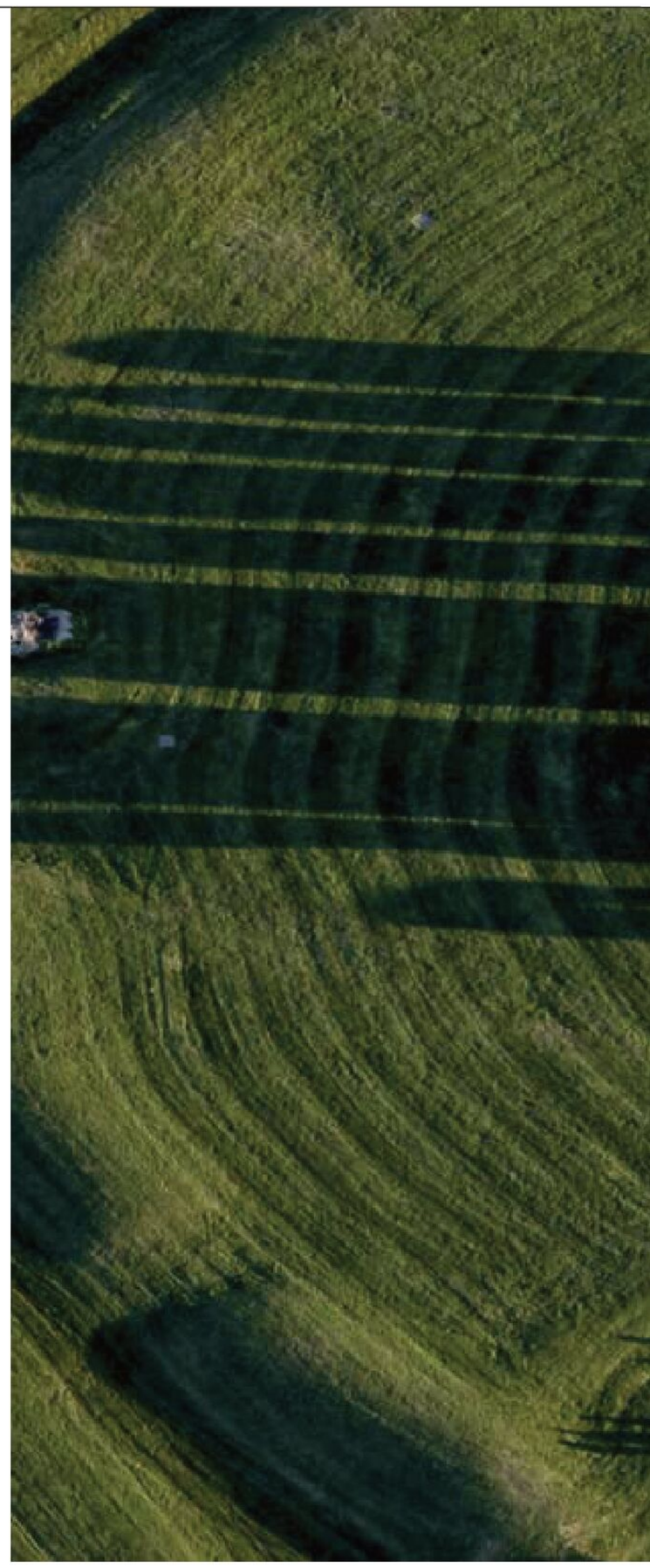
« Il est possible que la reconnaissance du site réserve des surprises, en révélant des vestiges oubliés »

Laurent Olivier, chercheur au CNRS et conservateur au musée d'Archéologie nationale de Saint-Germain-en-Laye (Yvelines)

* En 1990, la loi fédérale NAGPRA (The Native American Graves Protection and Repatriation Act, « acte sur la protection et le rapatriement des tombes amérindiennes ») a exigé que les biens culturels amérindiens mis au jour soient rendus aux peuples indigènes.

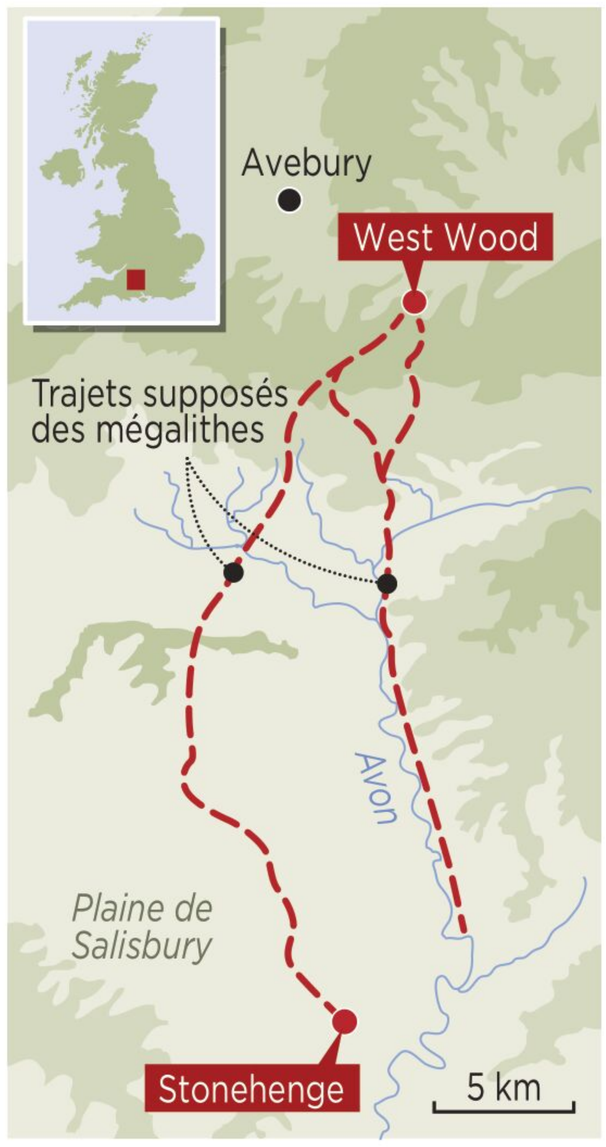
Stonehenge révèle ses secrets

Deux études éclairent d'un nouveau jour l'origine des mégalithes et les étonnantes propriétés acoustiques du monument préhistorique britannique.



Ce sont les histoires d'hommes et de femmes que l'on recherche derrière les pierres de Stonehenge, le site mégalithique emblématique de Grande-Bretagne considéré comme la plus grande et fascinante structure préhistorique d'Europe. Qu'ont-ils voulu y exprimer ? Étudiée depuis quatre siècles, ces murs concentriques, ancrés dans la plaine de Salisbury depuis 5000 ans, viennent enfin de livrer l'un de leurs secrets, celui des origines de ses plus imposants mégalithes. Les chercheurs ont en effet établi que ces blocs de pierre dressés, en grès sarsen, une roche très dure, ont été prélevés à West Wood... soit à 25 km au nord du site. C'est en étudiant la composition chimique des blocs que David Nash, géologue à l'université de Brighton*, a mis en exergue cette correspondance. Surtout, le chercheur n'en revient toujours pas des circonstances qui lui ont permis d'effectuer cette découverte, grâce à la rocambolesque aventure d'une carotte géologique.

L'histoire commence en 1958, lors d'un programme de restauration destiné à redresser trois des monolithes de Stonehenge. Pour ce faire, des trous horizontaux d'un mètre de long et 25 mm de diamètre sont percés dans la pierre. Or l'une de ces précieuses carottes de forage disparaît... pour réapparaître près de 60 ans plus tard de l'autre côté de l'Atlantique ! La famille d'un tailleur de pierre américain intervenu sur le site découvre un jour l'échantillon parmi ses affaires. Et contacte aussitôt l'English Heritage, l'organisme qui gère Stonehenge, afin de restituer la précieuse carotte. « *Pour nous qui avions l'obligation d'utiliser des méthodes non invasives pour étudier ces monolithes protégés, cet échantillon tombait du ciel*, se réjouit aujourd'hui David Nash. *L'English Heritage nous a permis de réduire en poussière un morceau à des fins d'analyse. Nous avons comparé les résultats avec ceux obtenus sur des échantillons de sarsens provenant de vingt sites différents en Grande-Bretagne. C'est ainsi que nous avons pu déterminer sa provenance.* » Soit donc le site de West Wood, le plus proche de Stonehenge.

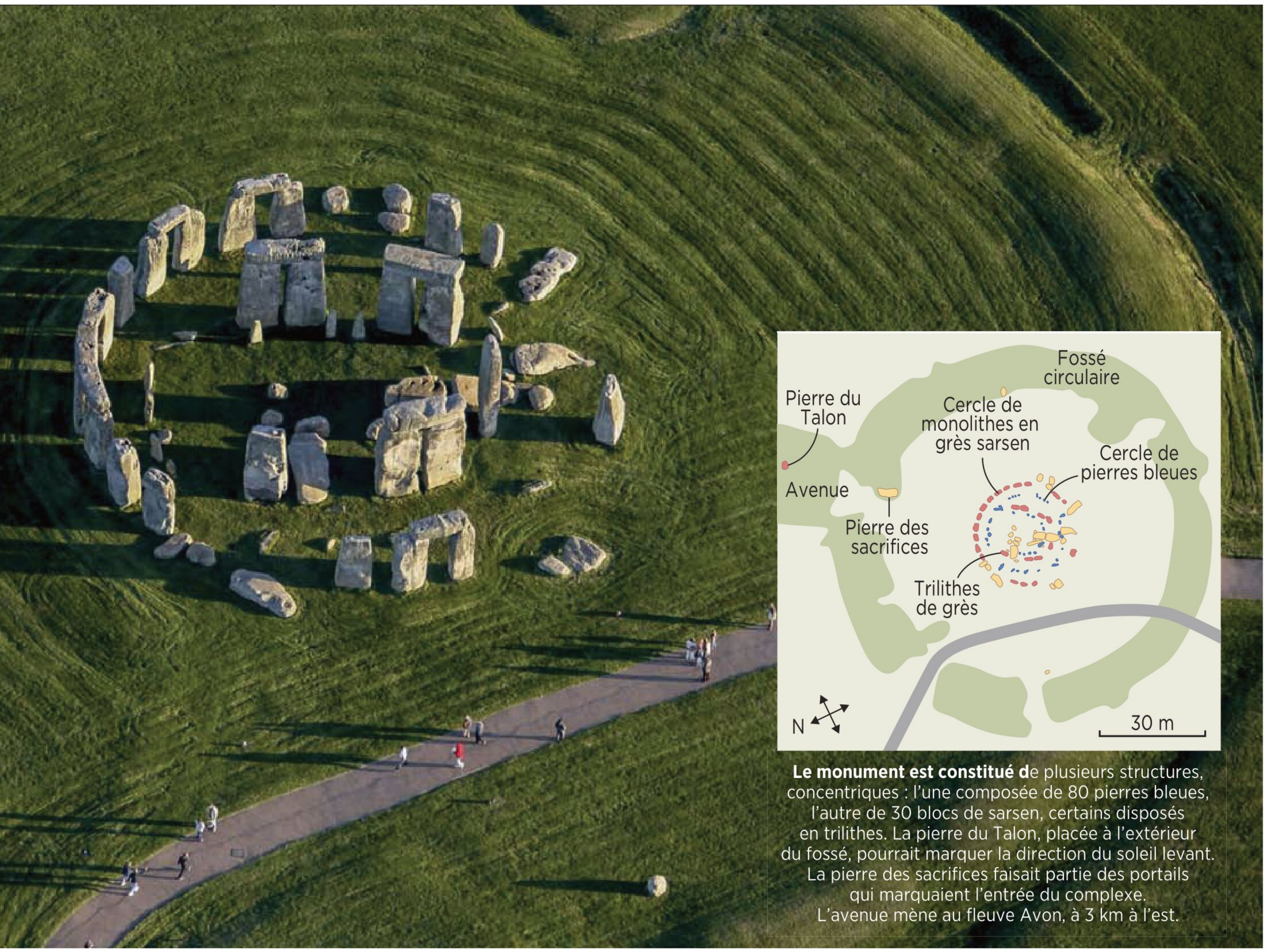


BRUNO BOURGEOIS

Les pierres de sarsen ont été prélevées à West Wood, à 25 km au nord de Stonehenge. Deux itinéraires ont été envisagés par les chercheurs pour leur transport : soit par le fleuve Avon, soit plus à l'ouest, où les blocs pourraient avoir été traînés ou roulés à l'aide de rondins.

Des monuments utilisés pendant plus d'un millénaire

David Nash espère désormais trouver l'emplacement exact de la carrière d'où a été extrait le matériau afin de déterminer la route empruntée par les hommes et les femmes du néolithique pour acheminer ces pierres. Car la question suscite toujours passions et controverses : pourquoi Stonehenge a-t-il été bâti, comme l'ont été à la même période d'autres monuments mégalithiques sur toute la façade ouest de l'Europe ? Les peuples de cette période, s'initiant à l'agriculture et à la domestication, y voyaient-ils des « temples » de pierre ? Toujours est-il que ces monuments ont été utilisés pendant plus d'un millénaire. La construction du site britannique s'est déroulée quant à elle en plusieurs temps : lors d'une première phase vers 3000 avant J.-C., une enceinte de terrassement circulaire de 90 mètres de diamètre est aménagée, avec 56 trous qui servirent peut-être à l'implantation de pieux en bois. Très vite



Le monument est constitué de plusieurs structures, concentriques : l'une composée de 80 pierres bleues, l'autre de 30 blocs de sarsen, certains disposés en trilithes. La pierre du Talon, placée à l'extérieur du fossé, pourrait marquer la direction du soleil levant. La pierre des sacrifices faisait partie des portails qui marquaient l'entrée du complexe. L'avenue mène au fleuve Avon, à 3 km à l'est.

DAVID GODDARD/GETTY IMAGES - BRUNO BOURGEOIS

une double structure en forme de fer à cheval est érigée, composée d'environ 80 pierres bleues, les *bluestones* pesant en moyenne 2 tonnes, qui proviennent des collines de Preseli, dans le sud-ouest du pays de Galles à environ 260 km de Stonehenge. Puis, vers 2500 avant J.-C., le grand Stonehenge se construit avec un cercle de 30 pierres de sarsen, certaines coiffées de linteaux, les trilithes. Les blocs taillés au silex mesurent jusqu'à six mètres de haut et pèsent en moyenne 25 tonnes, certains atteignant 40. Les linteaux supérieurs ont été appareillés sans maçonnerie mais avec mortaises et tenons démontrant un grand savoir-faire.

Ce travail titanesque témoigne de l'importance du lieu pour la population. La construction, les tumulus et les tombes autour des pierres indiquent un pouvoir fort et une économie assez riche pour supporter le temps et les efforts demandés. Pour Mike Parker Pearson, archéologue britannique qui travaille depuis 2003 sur le site et ses environs, Stonehenge « *fut le plus grand cimetière de Grande-Bretagne, utilisé de 3000 à 2300 avant J.-C. Les premières inhumations ont eu lieu avant l'arrivée des pierres* ». Les restes de plus de 200 personnes incinérées ou enterrées ont été exhumés des fossés qui entourent les pierres, parfois accompagnées d'objets (poignards, haches…). Les fouilles pratiquées à Durrington Walls, une autre enceinte néolithique située à 3 km de là, révèlent que Stonehenge n'était pas isolé. Les chercheurs y ont découvert un village datant également de 2500 avant notre ère : de petites maisons recélant de nombreux restes d'animaux, des ▸

THE UNIVERSITY OF BRIGHTON

« L'English Heritage nous a autorisés à réduire en poussière un morceau de l'échantillon retrouvé à des fins d'analyse »

David Nash, géologue, professeur de géographie physique à l'université de Brighton (Royaume-Uni)

SAM FROST, ENGLISH HERITAGE

La carotte prélevée à la fin des années 1950, et retrouvée 60 ans plus tard aux États-Unis, a permis aux chercheurs de déterminer la provenance du grès sarsen.

ANALYSE

Une signature chimique très précise

David Nash, géologue à l'université de Brighton (Royaume-Uni), a utilisé une méthode non invasive pour étudier la composition des sarsens, ces blocs levés de 25 tonnes. Les pierres ont été bombardées de rayons X de haute intensité ce qui a permis de déterminer qu'elles sont composées à plus de 99 % de silice et que 50 des 52 mégalithes partagent la même composition géochimique et proviennent donc d'un même endroit. Il a alors pu comparer la signature chimique des mégalithes avec celle de sarsens extraits d'une vingtaine de sites du sud de l'île.

porcs à 90 %, et des vaches. Les constructeurs de Stonehenge ont-ils habité Durrington Walls ? *« Peut-être y avait-il des banquets organisés dans ce village avant que la procession ne parte pour Stonehenge*, suggère Mike Pearson. *Nous y avons découvert un cercle de 2 km de diamètre dessiné par de larges fosses dans lesquelles des piquets en bois étaient enfoncés. Elles marqueraient les limites d'une zone sacrée. Une chose est sûre : il existait des liens entre ces différents sites.* » L'archéologue Tim Darvill a quant à lui son idée : Stonehenge aurait été un lieu sacré où les malades venaient chercher la guérison car certains squelettes portaient des traces de maladies ou de blessures.

Au-delà des différentes interprétations, le rôle astronomique des mégalithes n'est pas contesté. Lors du solstice d'été, les premiers rayons du soleil traversent en effet le monument par le centre, passant près de la Heel Stone (pierre du talon), une pierre de grès non taillée, située à l'extérieur du cercle. Peut-être un repère voulu par les constructeurs pour marquer la direction du soleil levant. C'est de cette pierre que part « l'avenue » qui se dirige vers le nord-est et rejoint le fleuve Avon. Elle présente l'aspect d'une voie processionnelle et a pu servir à acheminer les bluestones depuis le fleuve. *« Stonehenge a pu remplir différentes fonctions selon les époques*, résume Susan Greaney, historienne à l'English Heritage. *Ce site préhistorique est aligné sur les mouvements du soleil. Les dernières études montrent que les gros rassemblements avaient plutôt lieu au solstice d'hiver. On n'a retrouvé aucun objet à l'intérieur du cercle de pierres, tout a été nettoyé à l'époque. Nous ne disposons pas d'indices sur les croyances.* » D'où la large place laissée à l'imagination de chacun pour interpréter Stonehenge. ■

Sylvie Briet

* *Science Advances*, juillet 2020

RECONSTITUTION

Une acoustique étonnante

Le site possédait des propriétés acoustiques étonnantes, comme le démontre une étude récente. Trevor Cox, acousticien de l'université de Salford (Royaume-Uni) et son équipe* ont choisi la disposition des mégalithes correspondant à 2200 avant J.-C., Stonehenge ayant changé de plan selon les époques. Ils ont également supposé qu'ils formaient un cercle complet avec 157 pierres debout. À l'aide de données obtenues par un balayage laser et de l'impression en 3D, ils ont reconstitué le site sous forme d'une maquette à l'échelle 1/12. Les chercheurs ont ensuite installé des microphones et des haut-parleurs et émis des sons à différentes fréquences. Résultat : ceux-ci sont amplifiés de 10 à 20 % à l'intérieur avec un rendu identique à celui d'une salle de concert… alors que le site est en plein air ! En revanche, ces sons sont peu perceptibles de l'extérieur. Ce qui se passait à l'intérieur du cercle n'était donc pas audible pour un large public en dehors… Et le mystère s'en trouve encore augmenté.

* *Journal of Archaeological Science*, août 2020.

Ci-gît Montaigne ?

Découvert dans les réserves du musée d'Aquitaine à Bordeaux, le cercueil supposé du philosophe Michel de Montaigne a commencé à livrer des premiers indices.

L. GAUTHIER MAIRIE DE BORDEAUX

Outre les ossements, les scientifiques ont prélevé des morceaux de tissu, de pollens et des restes d'insectes.

Un squelette parfaitement conservé, y compris pour les petits os des pieds et des mains. Voilà ce que les chercheurs ont mis au jour en septembre dans le cercueil de plomb qu'ils ont ouvert dans les sous-sols du musée d'Aquitaine à Bordeaux où il était entreposé depuis plus d'un siècle. Or ce squelette gracile pourrait bien être de Michel de Montaigne, célèbre auteur des *Essais*, mort en 1592 et dont la dépouille avait été perdue. « *Nous allons pouvoir procéder à l'examen anatomique mais aussi aux analyses ADN des os et des dents pour établir l'identité avec certitude* », explique Hélène Réveillas, archéoanthropologue au Service d'archéologie préventive de Bordeaux Métropole et au laboratoire Pacea (UMR 5199 CNRS-université de Bordeaux), responsable de la mission. L'histoire de cette identification débute en 2018 lorsque Laurent Védrine, qui vient d'être nommé à la tête du musée bordelais, visite les réserves. Sa curiosité est attirée par une petite construction du XIXe siècle encastrée dans le mur, sur laquelle personne n'est en mesure de lui donner des informations. Des sondages révèlent alors qu'elle contient un cercueil en bois portant une plaque de cuivre gravée au nom de… Michel de Montaigne. Un vrai coup de tonnerre dans la cité bordelaise dont le philosophe fut deux fois maire ! Aussitôt, un groupe de scientifiques est formé pour procéder à l'ouverture de la bière en novembre 2019 : l'équipe d'Archéovision (CNRS/université Bordeaux-Montaigne/université de Bordeaux) effectue des relevés en 3D et Marie-France Deguilloux, responsable de la plate-forme de paléogénétique du Pacea, est chargée de conduire les premières analyses.

Un second cercueil à l'intérieur du premier

Parallèlement, Laurent Coste, professeur d'histoire à l'université Bordeaux-Montaigne, a pour mission de retrouver d'éventuels descendants de Montaigne afin d'établir des comparaisons génétiques. Las ! cette opération est suspendue lorsque les chercheurs découvrent un second cercueil de plomb à l'intérieur du premier. Le temps de faire appel au paléométallurgiste Michel Pernot, et l'ouverture a pu enfin avoir lieu durant la semaine du 14 au 18 septembre.

Outre les ossements, les chercheurs ont pu retrouver des morceaux de tissu ainsi que ce qui semble être des cheveux. Mais rien qui puisse attester dans l'immédiat de l'identité du squelette. « *Nous aurions aimé découvrir le collier de l'ordre de Saint-Michel, dont le philosophe avait été décoré, et avec lequel il aurait pu être inhumé* », regrette Hélène Réveillas. Les chercheurs ont également mis au jour un parchemin attestant que la dépouille de Montaigne avait été rapatriée du cimetière de Bordeaux à la fin du XIXe siècle pour être réinhumée officiellement dans ce qui était alors la faculté des lettres et sciences avant de devenir le musée d'Aquitaine… où elle fut donc oubliée dans les sous-sols. Les résultats des analyses ADN sont attendus pour début 2021. ■

Carole Chatelain

@CaroleChatelain

HÉLÈNE RÉVEILLAS

« Nous allons pouvoir procéder aux analyses ADN des os et des dents pour établir l'identité avec certitude »

Hélène Réveillas, archéoanthropologue au Service d'archéologie préventive de Bordeaux Métropole et au Pacea (UMR 5199 CNRS-université de Bordeaux)

« Notre perception du monde est une construction active »

Avec « Le Cinéma intérieur, projection privée au cœur de la conscience » (Odile Jacob), le neurologue et chercheur Lionel Naccache offre une plongée fascinante dans les rouages cérébraux impliqués dans la façon dont nous reconstruisons l'univers qui nous entoure.

BENOÎT DURAND/HANS LUCAS

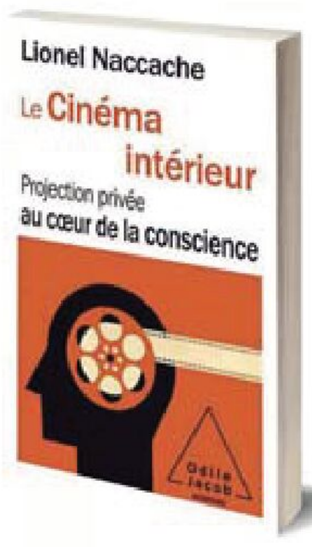
Lionel Naccache
est neurologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Il conduit des recherches à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM). Il est membre du Comité consultatif national d'éthique.

« Comme beaucoup j'adore le cinéma ! Depuis l'enfance, cet art populaire m'a donné des émotions fortes et des moments d'émerveillement inoubliables. Cela continue aujourd'hui, et j'évoque dans ce livre des films récents comme *Matrix* ou *Inception*... En outre, si le septième art me subjugue, il contribue à ma réflexion scientifique notamment depuis que je m'intéresse à la conscience. L'expérience cinématographique m'a longtemps intrigué sur un point : quand nous sommes installés dans une salle de projection, nous percevons un film... qu'on ne nous montre pas ! En réalité, c'est une succession d'images fixes — 24 images par seconde — que l'on nous projette mais nous faisons l'expérience de quelque chose de continu. Comment est-ce possible ?

Par ailleurs, au cours de nos travaux sur la conscience avec Jean-Pierre Changeux et Stanislas Dehaene, nous avons établi un modèle dit de l'espace de travail global. Une des hypothèses de cette théorie est que la conscience est un enchaînement d'états mentaux "discrets", au sens mathématique du terme, c'est-à-dire qu'ils sont si distincts les uns des autres et qu'il est impossible d'en glisser un entre deux voisins. Plusieurs travaux récents, dont ceux de notre équipe, ont en effet montré que la dynamique cérébrale de notre flux de conscience ressemble plutôt à une suite d'états distincts les uns des autres, dont certains seulement présentent les caractéristiques d'états conscients. Cependant, nous avons tous l'impression que notre conscience est un flux mental continu.

Ces deux observations sont à l'origine de ce livre. Comment notre cerveau nous donne l'illusion du continu à partir d'éléments discrets. Pour le comprendre, j'invite le lecteur à une exploration des mécanismes cérébraux impliqués dans la perception de notre environnement en filant cette métaphore cinématographique. Notre cerveau est en quelque sorte un super-réalisateur qui n'a rien à envier à ceux d'Hollywood !

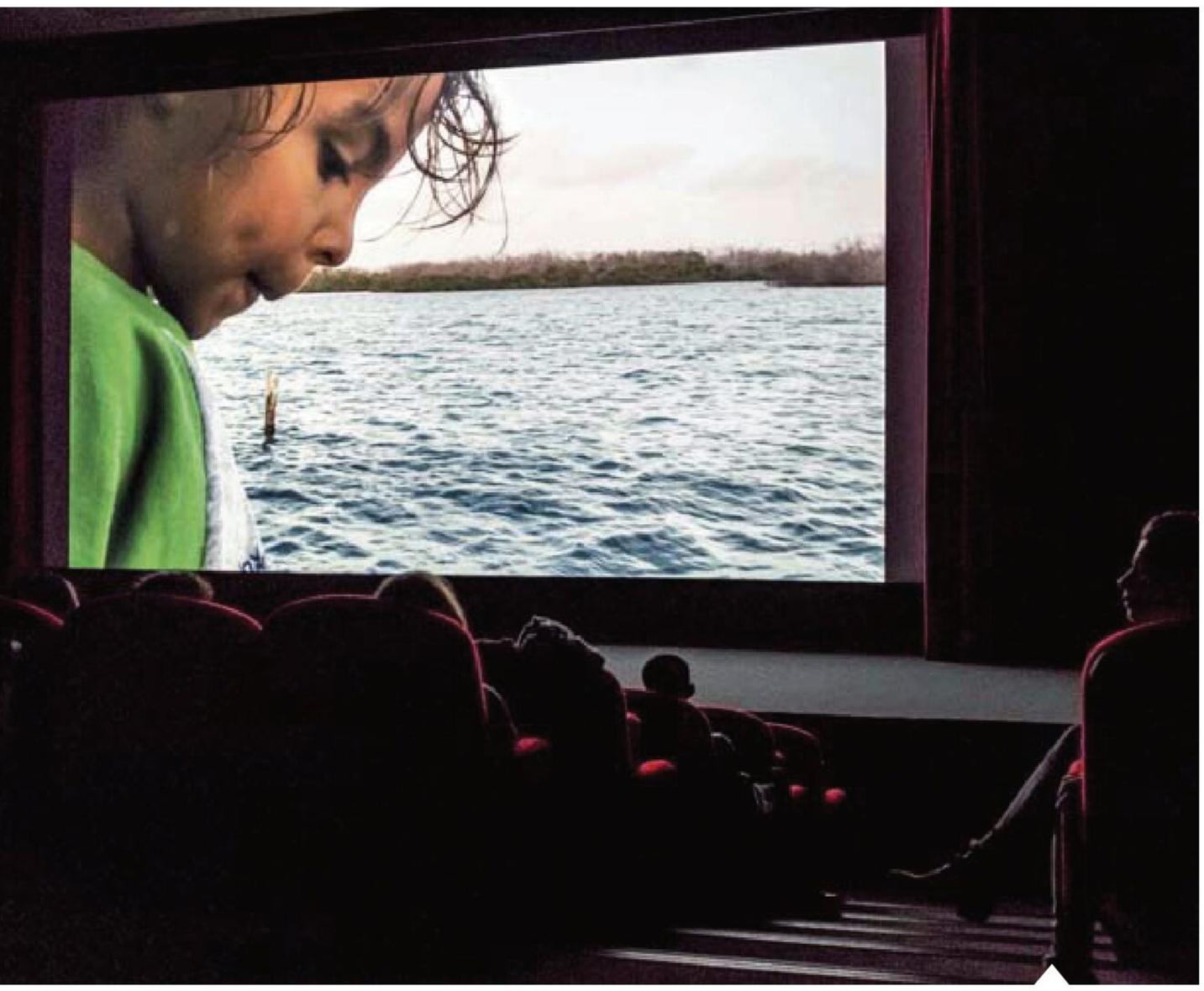
Au fil des pages, je rapporte et décris des expériences qui démontrent les activités de notre cinéma intérieur. Par exemple, il procède à l'échantillonnage discret de certains éléments du monde visuel, au rythme d'environ 13 images par seconde. En outre, il stabilise nos images par le phénomène de suppression saccadique et crée une illusion de complétude visuelle. Sur ce point, je rapporte une expérience cruciale réalisée dans les années 1970 par les Américains George McConkie et Keith Rayner. Les participants regardaient un écran sur lequel était affichée une page de texte. Ils étaient équipés d'électrodes qui mesuraient à chaque instant la position de leur regard. Il était ainsi possible de savoir en temps réel quelle partie de la page de texte se projette au centre de la rétine, sur la fovéa. Forts de cette information, les chercheurs modifiaient ce qui était affiché à l'écran, en fonction de la position du regard des participants. Seule la partie de l'écran que ces derniers



EXTRAIT

« En 1960, le psychologue américain George Sperling, alors âgé de 25 ans, a publié un article qui allait provoquer un séisme dont les secousses les plus fortes ne surviendraient que près de quarante plus tard. À chaque essai de l'expérience en question, Sperling présentait au participant un tableau de douze lettres ordonnées en trois rangées de quatre. Ce tableau n'était chaque fois flashé qu'une fraction de seconde. Puis le tableau disparaissait de l'écran qui demeurait alors vide. Sperling demandait ensuite au sujet ce qu'il avait vu. [...] En moyenne, cinq lettres sur les douze initialement affichées étaient rapportées par les sujets testés : moins de la moitié du nombre total de lettres. Ce premier résultat nous renseigne sur le nombre maximal d'objets que nous pouvons percevoir consciemment d'un simple coup d'œil. »

Le Cinéma intérieur. Projection privée au cœur de la conscience, Lionel Naccache, Odile Jacob, 240 p., 22,90 €



ARNAUD ROBIN/DIVERGENCE

Un film est une succession d'images fixes que le cerveau humain perçoit comme continue, rappelle le chercheur qui s'appuie sur cette expérience pour nous expliquer comment notre cerveau donne l'illusion d'un flux continu à une suite d'états mentaux distincts les uns des autres.

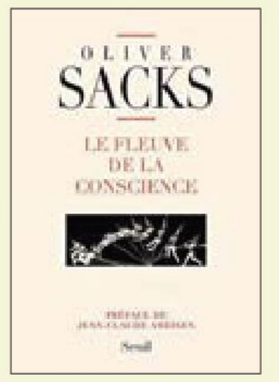
fixaient contenait bien les phrases qui devaient s'y trouver, le reste n'affichant qu'une série de X ! Or les participants n'y ont vu que du feu, ayant l'impression de lire une page complète !

Pour ce faire, les chercheurs mettaient immédiatement à jour l'affichage de l'écran en remplaçant les X par la suite du texte dès que les participants faisaient une saccade oculaire pour déplacer leur regard et poursuivre leur lecture. Comment est-il possible de changer l'affichage à l'insu du sujet qui fixe l'écran ? Parce que chaque fois que nous faisons une saccade oculaire, ce qui s'imprime sur nos rétines durant ces déplacements brefs n'est pas retenu par les mécanismes cérébraux de notre conscience. Ce *cut* dure environ deux dixièmes de seconde... Ainsi, notre perception est une construction active et audacieuse, et non la simple réception passive des "images" du monde. Notre cinéma intérieur est créatif. D'une certaine manière, nous co-créons, avec le monde qui nous fait face, l'apparence que ce dernier prend pour nous. De quoi avoir les yeux ouverts sur l'ordinaire de notre perception. » ■

> « Nous co-créons, avec le monde qui nous fait face, l'apparence que ce dernier prend pour nous »

Propos recueillis par Mathias Germain

SUR LE MÊME THÈME



Le subconscient n'existe pas !

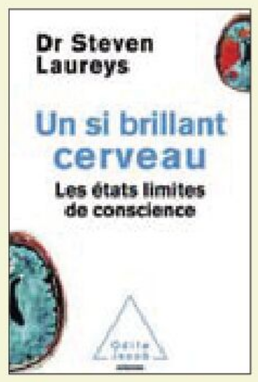
SCIENCES COMPORTEMENTALES La thèse de Nick Chater, professeur en sciences comportementales, est aux antipodes de la théorie psychanalytique de Sigmund Freud : le subconscient n'existe pas ! En s'appuyant sur les neurosciences, il réfute l'idée d'une vie intérieure, d'une « pensée inconsciente » ; l'impression de profondeur que nous éprouvons est en fait due aux extraordinaires capacités d'improvisation de notre cerveau, qui crée nos pensées en temps réel, en fonction du contexte et en amalgamant nos expériences passées. Et si Nick Chater venait de tuer le père ? **G. C.**

Et si le cerveau était bête ? Nick Chater, Plon, 324 p., 20,90 €

L'esprit d'Oliver Sacks

CRÉATIVITÉ Le neurologue et écrivain Oliver Sacks, décédé il y a cinq ans, était un explorateur passionné des mystères du cerveau humain. Ce recueil posthume rassemble des réflexions sur l'évolution de la vie et des idées, le processus de conscience et la nature de la créativité. Certains de ses détracteurs lui reprochaient d'être *« l'homme qui prenait ses patients pour une carrière littéraire »*. Ici, cette critique ne fonctionne pas : il utilise beaucoup d'expériences personnelles pour nourrir sa réflexion — ce qui rend la lecture encore plus émouvante. **M. G.**

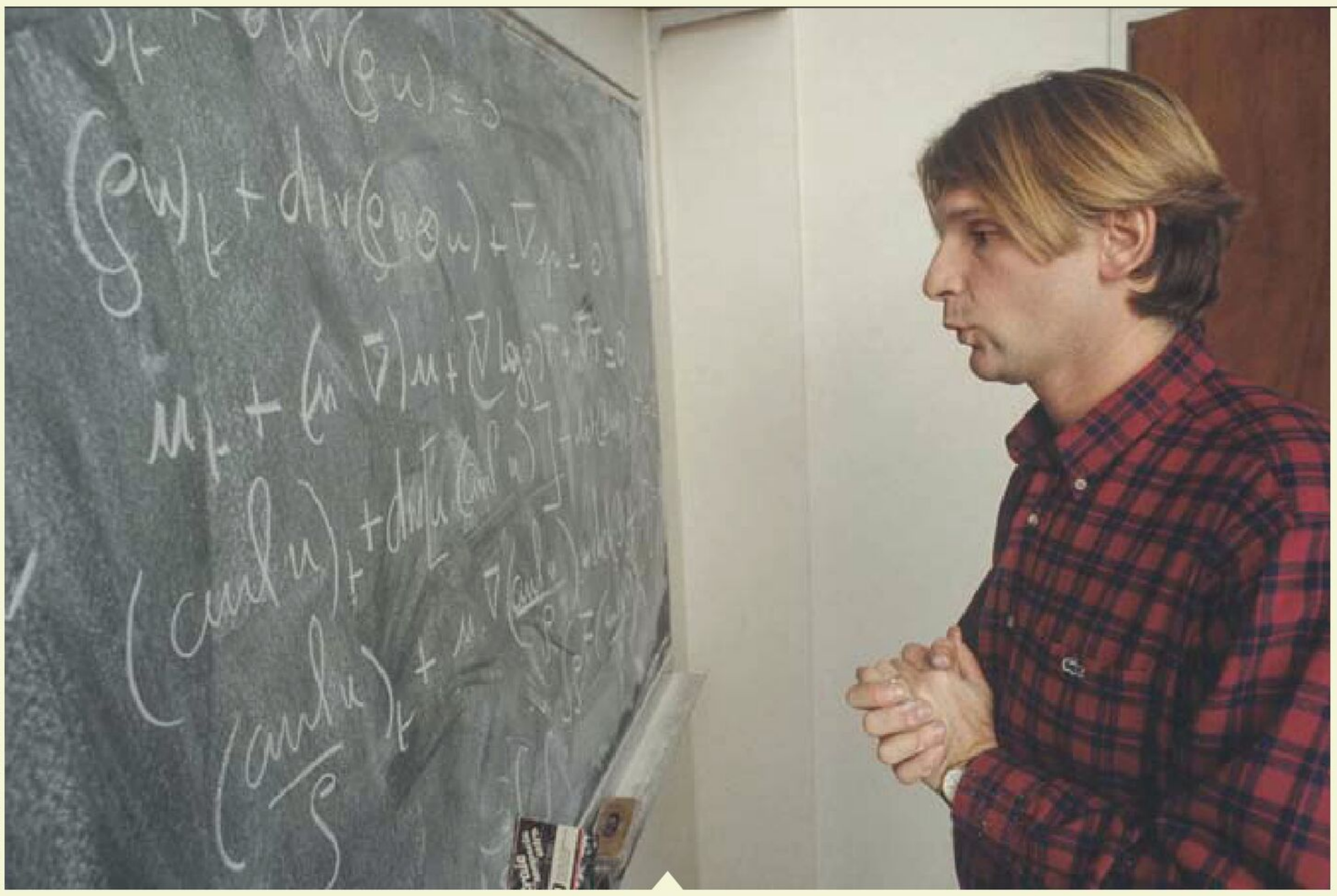
Le Fleuve de la conscience, Oliver Sacks, Seuil, 272 p., 21 €



Un si brillant cerveau

LOCKED-IN SYNDROME Explorateur de la conscience humaine, le neurologue belge Steven Laureys a été l'un des premiers, dans les années 1990, à produire des images de l'activité cérébrale des personnes en état végétatif, ou en *locked-in syndrome* — pleinement conscientes mais presque entièrement paralysées. À l'hôpital de Liège, il a créé le Coma Science Group, laboratoire phare dans l'examen de ces patients qu'on lui amène de toute l'Europe, et a contribué à mettre au point des tests pour évaluer leur niveau de conscience. C'est à cette aventure hors du commun qu'il convie le lecteur dans un récit où il aborde les problèmes de la recherche au quotidien : difficulté pratique à conduire les expériences, à trouver des financements, à publier des articles scientifiques, sans sacrifier pour autant son rôle de soignant, voulant rester proche des malades et de leur famille. **M. G.**

Un si brillant cerveau, Steven Laureys, Odile Jacob, 296 p., 23,90 €



MICHEL BARET/CNRS PHOTOTHÈQUE

Pierre-Louis Lions s'est notamment illustré dans l'étude des équations aux dérivées partielles (ici, en 1995).

La vocation d'un mathématicien

Qu'est-ce qui peut motiver un mathématicien à résoudre des problèmes ? Pierre-Louis Lions, médaille Fields, tente de nous faire partager cette curiosité insatiable à travers son parcours exceptionnel.

ITINÉRAIRE Il avoue d'emblée que ce que recouvrent les mathématiques reste à ses yeux une énigme. Pourtant, Pierre-Louis Lions n'est pas n'importe quel mathématicien : fils de Jacques-Louis Lions, pionnier des mathématiques appliquées en France (l'un des plus gros laboratoires de ce type porte son nom à Sorbonne Université), il a reçu la médaille Fields en 1994. Est-ce de la modestie mal placée ? Sans doute pas tant les mathématiques restent, même pour ceux qui les pratiquent, teintées de mystère.

Écrit sous forme largement autobiographique, l'itinéraire de ce curieux de tout — une des qualités qu'il met en avant — est passionnant pour qui veut entrer dans les arcanes d'une carrière de mathématicien. Des études brillantes en compagnie de son camarade Jean-Christophe Yoccoz, et des destins parallèles : Louis-le-Grand, École normale supérieure, médaille Fields et Collège de France. Tous deux étaient des spécialistes d'analyse, *« cette branche des mathématiques qui s'intéressent aux inégalités »*, mais si Jean-Christophe Yoccoz — disparu en 2016 — est resté dans les mathématiques fondamentales, Pierre-Louis Lions s'est tourné vers les mathématiques appliquées. Outre les résultats qu'il a obtenus sur les équations aux dérivées partielles (qui décrivent le comportement des systèmes physiques) et sur le contrôle optimal (qui cherche à optimiser des processus), bon nombre de ses travaux ont été effectués en lien avec l'industrie.

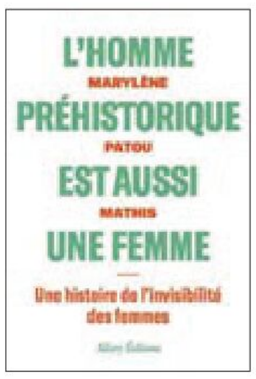
Parmi les élèves dont il a dirigé la thèse, un certain Cédric Villani l'a particulièrement marqué. Il raconte leurs interactions et la petite note qu'il lui a écrite après quelques mois d'inactivité (*« Cher Cédric, il serait peut-être temps de se mettre au boulot… Amitiés PL »*) que Villani a reproduite en guise de remerciements dans son manuscrit thèse. Ce parcours d'un mathématicien appliqué bien conscient de l'importance de la recherche fondamentale. Truffé d'anecdotes et de rencontres, l'ouvrage se lit presque comme un roman. ■

Philippe Pajot

Dans la tête d'un mathématicien, Pierre-Louis Lions, Humensciences, 224 p., 22 €

Sans oublier la femme préhistorique

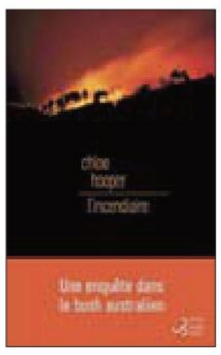
DÉCONSTRUCTION C'est un livre puissant qu'a écrit la préhistorienne Marylène Patou-Mathis : il balaie les archétypes véhiculés sur les femmes de la préhistoire depuis le XIXe siècle, par des savants eux-mêmes emplis de préjugés sexistes. Cette image d'une faible subordonnée restant à la grotte avec ses petits en attendant le retour des hommes de la chasse. Or on découvre ces femmes chamanes, artistes, chasseuses autant que cueilleuses, fabriquant outils et habitats. La chercheuse décortique également comment l'histoire, le contexte économique et social ont contribué à leur « invisibilisation ». Un ouvrage salutaire et inspirant et une pièce forte à ajouter à notre « matrimoine ». ■ **R. M.**



L'homme préhistorique est aussi une femme, Marylène Patou-Mathis, Albin Michel, 346 p., 21,90 €

Décryptage d'un mégafeu

ENQUÊTE On l'a surnommé « Samedi noir ». Le 7 février 2009, du côté de Churchill, en Australie, plusieurs départs de feux déclenchent un des plus épouvantables incendies que le pays ait vécu, *« produisant un total de 80 000 kilowatts de chaleur, soit l'équivalent de cinq cents bombes atomiques »*. À partir des témoignages cauchemardesques des rescapés, cette enquête à suspense mènera des premiers soupçons de la police jusqu'au procès de l'incendiaire, dont l'auteur s'attache à percer le psychisme. Ancré dans le contexte sociologique et environnemental du pays, le récit décrypte des mécanismes de propagation des feux qui résonnent dramatiquement avec l'actualité. ■ **A. de B.**



L'Incendiaire, Chloe Hooper, Christian Bourgois, 240 p., 20 €

La mondialisation par les objets

CONSOMMATION Saviez-vous que le shampooing adopté par les élites britanniques était né en Inde ?

Que les premiers cigares rapportés en Europe provenaient des Indiens Taïnos ? Ou encore que le banjo, venu de l'Afrique de l'Ouest *via* la traite transatlantique, est passé des musiciens noirs, aux Blancs pauvres du sud des États-Unis *« dans une absolue négation de ses liens avec l'esclavage »*. Dans cet ouvrage transformé en « magasin » virtuel, 90 spécialistes expliquent comment tous ces objets, par leur circulation, racontent une histoire de la mondialisation. ■ **B. A.**

Le Magasin du monde, sous la direction de Pierre Singaravélou, et Sylvain Venayre. Fayard, 457 p., 25 €

Cas psychiatriques, de Rambo aux Soprano

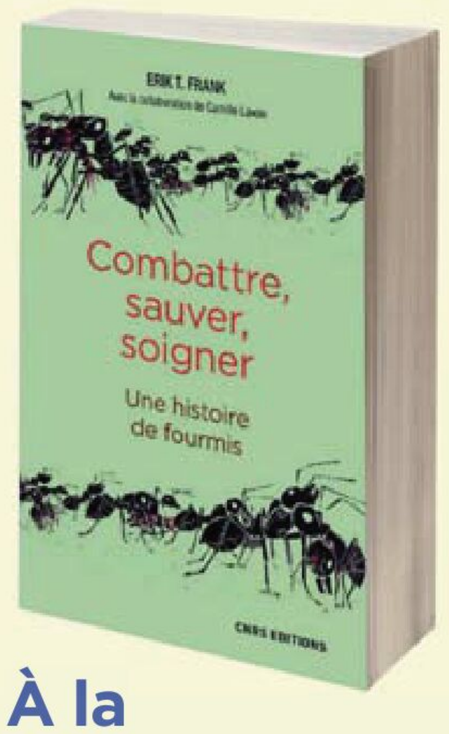
DIAGNOSTIC L'agent de la CIA Carrie Mathison (*Homeland*), le vétéran du Viet Nâm Rambo, le superhéros Batman, les femmes du film *The Hours*, l'adolescente suicidée de la série *13 Reasons Why*, le mafieux Tony Soprano… Tous ces personnages de films et de séries télévisées ont des problèmes psychiatriques. Et c'est un psychiatre et cinéphile qui les analyse en détail, remontant même aux débuts du cinéma. L'approche clinique met à mal bien des idées reçues (sur la schizophrénie, les pulsions meurtrières, les psychiatres). Sachez ainsi que, non, le film *Psychose* n'a rien à voir avec la psychose ! ■ **A. D.**

Nos héros sont malades, Dr Christophe Debien, HumenSciences, 192 p. 20 €

La Silicon Valley, un modèle contesté

RÉGRESSION Les livres ébranlant le mythe de la Silicon Valley se succèdent depuis quelques années. Économiste, Cédric Durand rappelle quelques vérités oubliées, comme le rôle de la commande publique dans l'essor de la région. Il resitue l'originalité et les dangers que représente l'industrie des géants du Web, bien loin de l'industrie originelle des ordinateurs et des composants. Le fonctionnement de la vallée a été érigé en modèle or, c'est justement son incapacité à être reproduite qui la définit tant elle a *« besoin d'un océan de non-Silicon Valley pour subsister »*. ■ **A. D.**

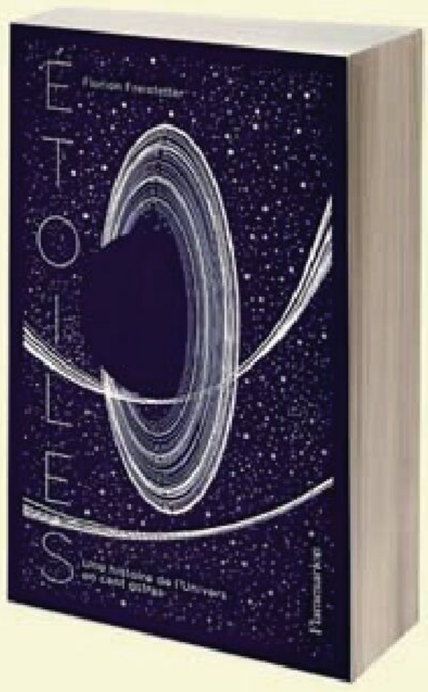
Techno-féodalisme, Cédric Durand, La Découverte, 256 p., 18 €



À la découverte des fourmis secouristes

SOLIDARITÉ On savait les fourmis surprenantes, mais on ne savait pas encore à quel point ! Écrit par un jeune biologiste, Erik T. Frank, en collaboration avec la journaliste Camille Lavoix (qui est aussi son épouse), ce livre nous emmène à la découverte des fourmis Matabele. Les individus de cette espèce, que l'on rencontre dans le parc national de la Comoé, en Côte d'Ivoire, sont des stratèges hors pair : leurs raids pour chasser les termites — leurs uniques proies — sont organisés avec une précision militaire. Surtout, ces fourmis manifestent un comportement que l'on n'avait jamais observé auparavant chez des insectes : elles aident leurs camarades blessées à regagner la fourmilière et les soignent, ce qui améliore leurs chances de survie. Cette solidarité a, bien évidemment, une explication scientifique, que les lecteurs découvriront dans cet ouvrage grand public, au style concis et enlevé. ■ **Vincent Glavieux**

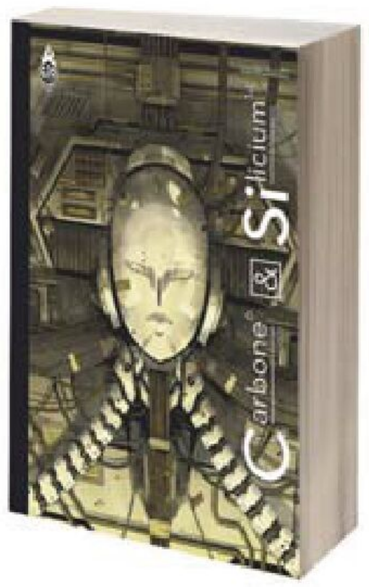
Combattre, sauver, soigner. Une histoire de fourmis, Erik T. Frank, avec la collaboration de Camille Lavoix, CNRS Éditions, 168 p., 17 €



Aréopage céleste

VOYAGE COSMIQUE Proches de nous ou situées aux confins de l'Univers, en devenir ou disparues depuis des milliards d'années, très lumineuses et figurant dans des quantités de mythes et légendes ou brillant si faiblement qu'elles ne peuvent être observées que par les plus puissants télescopes… Les 100 étoiles décrites dans ce « beau livre » — certaines portent des noms célèbres (Aldébaran, Antarès, Sirius…) d'autres de simples matricules dans des catalogues alphanumériques — ont certes peu de choses en commun. *« Les étoiles sont aussi diverses que l'Univers lui-même »*, détaille l'auteur, astronome à l'université d'Iéna, en Allemagne. *Chacune porte son propre récit, et ensemble elles nous disent l'histoire du monde. »* On découvre ainsi, grâce à cet aréopage céleste, comment tout a commencé il y a 13,8 milliards d'années, quelles étranges planètes gravitent autour de ces astres et comment fonctionne un trou noir ou à quoi pourrait ressembler notre devenir dans le cosmos. Un voyage fascinant, superbement illustré. ■ **Franck Daninos**

Étoiles. Une histoire de l'Univers en 100 astres, Florian Freistetter, Flammarion, 455 p., 25 € (en librairie le 4 novembre)



Odyssée robotique

ANTICIPATION Après sa brillante épopée spatiale (*Shangri-La*, 2016 chez le même éditeur), Mathieu Bablet redescend — un peu — sur Terre pour nous conter l'histoire de *Carbone & Silicium*, deux androïdes renégats qui ont échappé à leur mort programmée. Au cours d'une fuite qui s'étalera sur près de trois siècles, ils auront l'occasion d'assister à la lente et inexorable déliquescence de la civilisation humaine, confrontée notamment aux conflits climatiques. Après avoir donné la parole à des chiens dans son livre précédent, l'auteur confie cette fois le premier rôle à des robots. Comme une manière détournée mais très efficace de s'interroger sur la nature humaine. ■ **H. R.**

Carbone & Silicium, Mathieu Bablet, Ankama, 272 p., 22,90 €

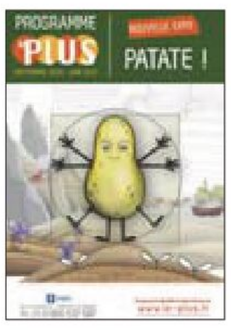
EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Gladiateurs
En immersion dans des décors inspirés des sources archéologiques, une plongée dans l'Antiquité romaine en jouant, à partir de 6 ans, le rôle d'un gladiateur ou d'une gladiatrice.
Cap Sciences, hangar 20, quai de Bacalan, jusqu'au 28 mars 2021. Rens : 05.56.01.07.07.

Dunkerque (59)

Patate !



Cultivée sur l'altiplano andin il y a 8000 ans, la pomme de terre est la première denrée alimentaire non céréalière du monde. Une exposition accessible dès 6 ans pour découvrir son histoire, sa culture, etc.
Cappelle-la-Grande, PLUS - Palais des sciences et de l'univers, rue du Planétarium, jusqu'au 29 août 2021. Rens. : 08.00.53.75.87.

Marseille (13)

Folklore
Cette exposition, conçue par le Centre Pompidou-Metz et le Mucem, retrace les relations parfois ambiguës que les artistes ont avec le folklore à travers une rencontre histoire de l'art et histoire des sciences humaines.
Mucem, J4, 7, promenade Robert-Laffont, du 4 novembre au 22 février 2021. Rens. : 04.84.35.13.13.

Paris (75)

Jean Perrin, une œuvre, un héritage
Une exposition pour célébrer le 150e anniversaire de la naissance du prix Nobel de physique 1926, qui a prouvé l'existence des atomes et des molécules. Lire notre visite : sciav.fr/885JeanPerrin
Bibliothèque de l'institut Poincaré, 11, rue Pierre-et-Marie-Curie, jusqu'au 18 décembre. Rens. : 01.44.27.67 89.

Secrets de beauté
Les secrets de beauté des femmes au Japon de l'époque d'Edo, entre les XVIIe et XIXe siècles, explorés au travers d'objets qui permettent aussi de comprendre les estampes accrochées à proximité. Lire notre visite : sciav.fr/885secrets
Maison de la Culture du Japon à Paris, 101 bis, quai Branly, jusqu'au 6 février 2021. Rens. : 01.44.37.95.95.

Tours (37)

Araignées
Une exposition inédite faite de panneaux explicatifs, de manipulations interactives, ainsi que d'une vingtaine de terrariums pour mieux connaître les araignées.
Muséum d'Histoire naturelle, 3, rue du Président-Merville, jusqu'au 30 janvier 2022. Rens. : 02.47.21.68.08.

Aix-en-Provence **(13)** / Exposition

Pharaon, Osiris et la momie

MUSÉE DES BEAUX-ARTS DE DIJON / FRANÇOIS JAY

Mais que vient faire l'Égypte au pays de Cézanne ? Aix était autrefois la capitale de la Provence. Du XVIIe au XIXe siècle, la mode était aux cabinets de curiosités. Avant même que naisse l'égyptologie (c'est en 1822 que Champollion présenta son système de déchiffrement des hiéroglyphes), les collectionneurs y rassemblaient toutes sortes d'objets. La ville rend ainsi d'abord hommage aux principaux d'entre eux, dont les choix sont reflétés aujourd'hui par une part importante de la collection du musée. Et le peintre néoclassique François Marius Granet (1775-1849) — dont le musée porte le nom depuis 1949 — était l'un d'eux. « *L'idée était de montrer l'intégralité de la collection égyptienne du musée Granet*, explique Bruno Ely, conservateur en chef du musée. *Et nous confrontons certaines pièces à une cinquantaine d'objets issus des collections du Louvre et d'autres musées.* » Parmi ces prêts, une étonnante sculpture haute de 2 mètres et pesant 400 kg : un colosse de pharaon debout daté des XIIIe-XIIe siècles avant J.-C. Impossible de présenter un parcours chronologique représentatif avec cette collection, aussi le commissaire de l'exposition Christophe Barbotin a-t-il décidé de regrouper les pièces par thématiques. Il en a choisi trois, qui ont donné son titre à l'exposition : Pharaon, Osiris et la momie. Pour en savoir plus : sciav.fr/885Aix ■
Mathieu Nowak
Musée Granet, place Saint-Jean-de-Malte, jusqu'au 14 février 2021. Rens. : 04.42.52.88.32.

Cet impressionnant colosse de pharaon debout de 2 m de haut pour un poids de 400 kg a été prêté par le Louvre.

Poitiers (86)

L'archéologie à grande vitesse, 50 sites fouillés entre Tours et Bordeaux
Les fouilles dues à la construction de la ligne à grande vitesse (LGV) Sud-Europe-Atlantique racontent l'histoire des territoires traversés.
Musée Sainte-Croix, 3 bis, rue Jean-Jaurès, jusqu'au 6 décembre. Rens. : 05.49.41.07.53.

PARTENARIATS

Nantes (44)

Utopiales
La 20e édition de ce festival international de science-fiction a pour thème les « traces » que nous avons laissées « dans la poussière du temps ». Deux tables rondes seront animées par *Sciences et Avenir*, respectivement consacrées au « blues du pangolin » et à « celui qui étudie les virus ».
Du 29 octobre au 1er novembre. Programme : www.utopiales.org

Paris (75)

Le festival des idées
Lancé en 2016, ce festival qui a pour ambition de faire se rencontrer chercheurs, écrivains ou artistes, afin de débattre avec le public sur de grands enjeux contemporains a pour thème cette année les « nouvelles normalités »
Les 20 et 21 novembre. Programme : sciav.fr/885fesidees

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

LE CIEL DE NOVEMBRE

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (19°) à l'ouest du Soleil le 10. Elle est observable au petit matin, bas vers le sud-est, durant les 2e et 3e semaines du mois.

VÉNUS
L'étoile du Berger est encore visible en fin de nuit et au petit matin vers le levant sous la forme d'un point étincelant. Toutefois, sa bonne période de visibilité touche progressivement à sa fin : le 1er, elle se lève un peu plus de 3 h avant le Soleil et le 30, seulement 2 h 30 avant lui. Vénus quitte la constellation de la Vierge le 27 pour entrer dans la Balance.

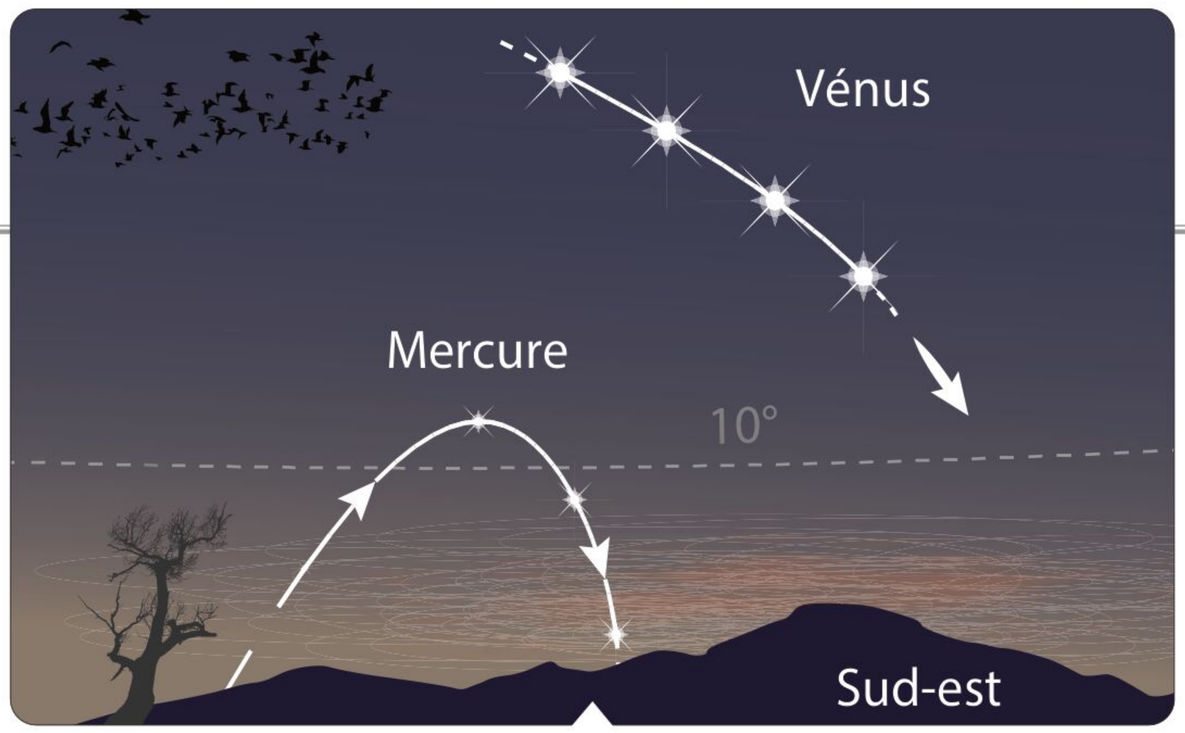
MARS
Un mois après son passage à l'opposition, la planète Rouge se situe toujours dans d'excellentes conditions d'observation. Point brillant de couleur caramel, on peut la voir une grande partie de la nuit. Toutefois, la planète s'éloignant de la Terre à raison d'un million de kilomètres par jour ce mois, son éclat diminue de 60 % durant la même période.

JUPITER
Très brillante, la planète géante est observable en première partie de nuit alors qu'elle s'abaisse déjà lentement vers l'horizon sud-ouest.

SATURNE
La planète aux anneaux partage les mêmes conditions d'observation que Jupiter. Elle voit d'ailleurs cette dernière fondre sur elle, la distance angulaire entre les deux planètes passant de 5° le 1er à 2° le 30.

L'appli du mois

ISS Live Now est une application gratuite en français disponible sur Android et iOS. Elle propose plusieurs sources de streaming vidéo, dont un en direct de la Terre depuis la Station spatiale internationale. La carte intégrée vous permet de suivre son orbite autour de notre planète.
Ne manquez pas non plus la visite virtuelle de la station !



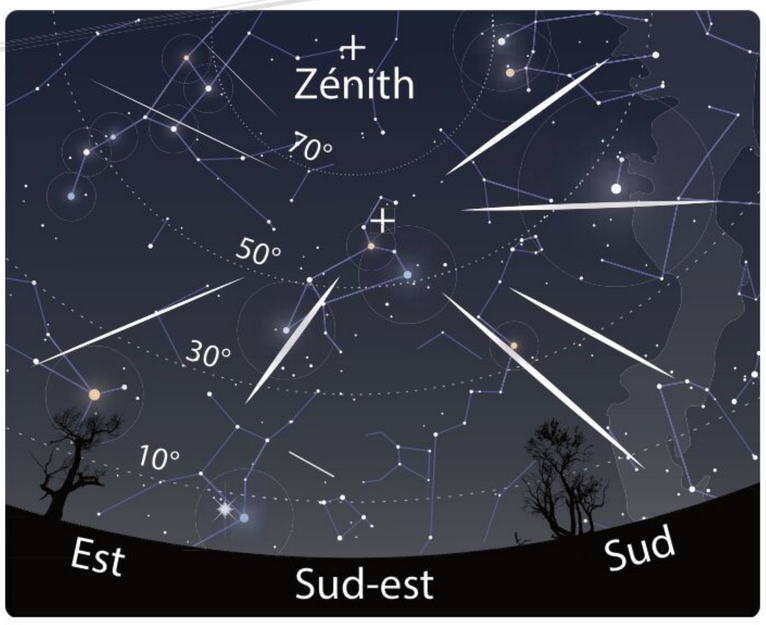
Nous sommes 30 min avant le lever du Soleil. Les positions des planètes Mercure et Vénus sont données les 1er, 10, 20 et 30 novembre.

Coup de projecteur sur Mercure et Vénus

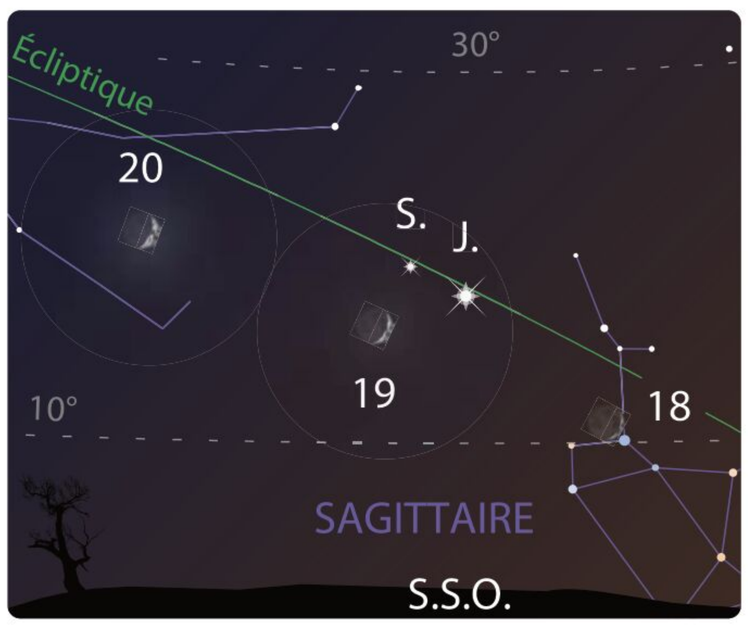
Les deux planètes les plus proches du Soleil sont visibles le matin, peu avant le lever du jour. Malgré des conditions d'observation moins favorables qu'à la fin de l'été, Vénus est immanquable par son éclat. Mercure ne se dévoile qu'en 2e et 3e semaines. Son éclat augmente d'un facteur 6 entre le 1er et le 10. La raison ? Mercure nous présente, dans le même temps, une fraction croissante de son hémisphère éclairé par le Soleil.

Notre conseil Commencez par vous trouver un horizon sud-est bien dégagé puis repérez Vénus, un point étincelant. Mercure se situera à une dizaine de degrés de là.

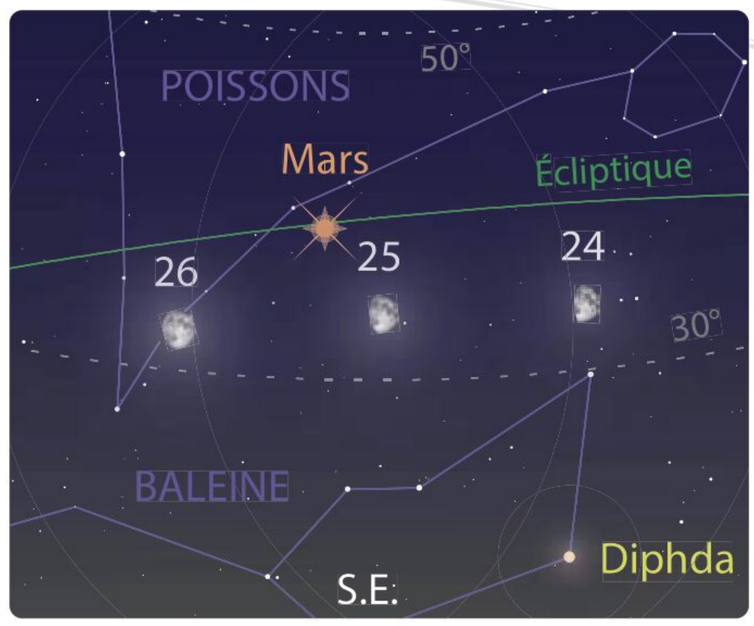
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr



COMME CHAQUE ANNÉE, PENDANT QUELQUES JOURS AUTOUR DU 17, vous pourriez admirer jusqu'à une quinzaine d'étoiles filantes de l'essaim des Léonides par heure en fin de nuit.



LE 19, 1 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, ne manquez pas le rapprochement entre le fin croissant de Lune enrobé de sa lumière cendrée et les planètes Jupiter (J.) et Saturne (S.).



LE SOIR DU 25, 2 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, une Lune en phase gibbeuse croissante sera à 6° de Mars. Un bon moyen pour repérer sans ambiguïté la planète Rouge !

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

MÉTÉOROLOGIE

Quel est le record de vitesse de vent sur Terre ?

Jed R.

Le record absolu de vitesse du vent en rafale, selon l'Organisation météorologique mondiale, est de 408 km/h. Il a été enregistré durant le cyclone tropical Olivia le 10 avril 1996 sur l'île de Barrow, en Australie Occidentale. Mais les tornades sont pires encore : à Moore (Oklahoma, États-Unis), le 3 mai 1999, a été mesuré un souffle à 484 km/h ! En France, ce ne sont pas les tempêtes de décembre 1999 qui ont provoqué les vents les plus forts (malgré les 210 km/h atteints au pont de Tancarville, en Seine-Maritime) : le record a été relevé au mont Ventoux (Vaucluse), le 19 novembre 1967, avec une vitesse de 320 km/h.

Lise Loumé @Lys_Loume

PHYSIQUE

D'où vient la mousse de la bière ?

Monique S.

La mousse est provoquée par les bulles de gaz (du dioxyde de carbone) qui se libèrent à l'ouverture et au moment de verser la bière dans le verre. Mousse qui ne restera pas et disparaîtra au bout d'une à deux minutes, les bulles éclatant les unes à la suite des autres. Mais pourquoi n'observe-t-on pas le même phénomène lorsque l'on verse de l'eau pétillante dans un verre alors qu'il s'agit du même gaz ? C'est que la bière contient des protéines issues de l'orge. Aussi, quand les bulles montent, elles collectent et accumulent ces protéines qui arrivent à la surface et forment un cumul de bulles recouvertes de protéines, la mousse. Pour une bière, la teneur en protéines de l'orge germée, le malt, doit être comprise entre 9 et 12 %. En dessous et au-dessus, l'orge ne peut plus être utilisée parce que la bière ne mousse pas. **L. L.**

PAUL MCKENZIE/BIOSPHOTO

Si Isaac Newton a décompté, en 1704, sept couleurs, leur nombre est en réalité infini.

OPTIQUE

Combien de couleurs possède un arc-en-ciel ?

Claude M.

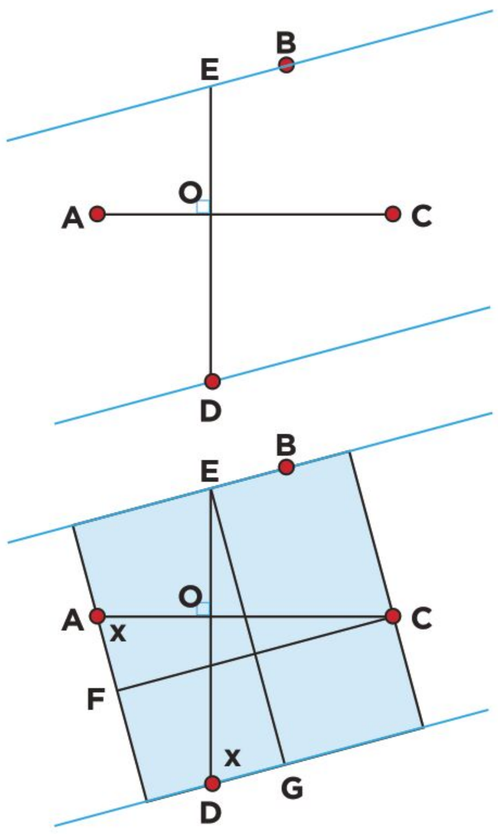
Rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet : voici les sept couleurs de l'arc-en-ciel (de l'extérieur vers l'intérieur) telles qu'on les enseigne. Mais cela correspond-il vraiment à la réalité ? Revenons à l'observation. C'est par temps pluvieux que l'on peut apercevoir un arc-en-ciel. Mais pas seulement : autour d'une cascade ou en vaporisant ses plantes, il est possible d'observer le même phénomène. En fait, il suffit qu'il y ait de l'eau en suspension dans l'air et… la lumière du soleil. Celle-ci nous apparaît blanche, mais elle est en fait composée de toutes les couleurs existantes. Lorsqu'elle traverse des gouttelettes d'eau, elles la décomposent par un effet de prisme. Ce phénomène appelé « dispersion » donne naissance à toutes les couleurs visibles. Alors pourquoi n'en avoir retenu que sept ? À cause d'un célèbre physicien : Isaac Newton. Connu pour sa formulation de la loi de la gravitation universelle, il s'est aussi intéressé à l'optique et aux télescopes. Aussi avait-il remarqué que la lumière réfractée donnait naissance à différentes couleurs, des « aberrations chromatiques » qui limitaient l'usage de ses outils. Après plusieurs expériences menées avec des prismes, il conclut que la lumière en apparence blanche du Soleil était composée de rayons colorés. Il en dénombra cinq : les trois primaires (le rouge, le jaune et le bleu) et deux secondaires (le vert et le violet). Il en rajouta deux (l'orange et l'indigo) pour faire correspondre la gamme des couleurs à celle des notes de musique. Toutes ses expériences sont détaillées dans *Opticks*, un ouvrage qu'il publia en 1704. De là sont nées les sept des couleurs de l'arc-en-ciel qui en compte en réalité une infinité. ■

Joël Ignasse
@IgnasseJ

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 884, octobre 2020

Carré tombé

Traçons le segment AC. À partir de D, menons une perpendiculaire à AC et de même longueur que AC jusqu'en E.
Traçons la droite EB et, en D, traçons une parallèle à EB. En traçant les perpendiculaires à EB passant par les points A et C, nous obtenons un rectangle, tous les angles étant droits. Traçons aussi les perpendiculaires de E et de C sur les côtés opposés. Les triangles rectangles DEG et ACF sont semblables, ayant un angle égal FAC = GDE. Leurs côtés AC et ED étant égaux, ils sont égaux. FC et EG, égaux, orthogonaux entre eux et à deux côtés du rectangle, prouvent qu'il est carré.



Un, deux trois

1 + 2 - 3 = 0
(1 + 2)/ 3 = 1
1 - 2 + 3 = 2
(-1 + 2) x 3 = 3
12 / 3 = 4
1 x (2 + 3) = 5
1 + 2 + 3 = 6
1 + 2 x 3 = 7
? = 8
(1 + 2) x 3 = 9
Pour les nombres calculés, il y a d'autres solutions. En introduisant l'élévation à la puissance ou la factorielle, on obtient :
$1 \times 2^3 = 8$
1 x 2 + 3! = 8

Makotu 7++

13+ 1	23+ 4	3	7	30x 2	360x 6	5
4	7	2	5	1	3	6
5	10+ 6	4	10+ 3	7	10+ 1	2
3	50x 2	5	1	2- 6	7	19 4
4m 7	5	1	26+ 6	4	2	3
2	1	6	4	s 3	5	7
6	3	7	2	5	4	1

Le pommier de Léonard

T	O	U	T		P	O	I	D	S		S	O	U	H	A	I	T	E		
T	O	M	B	E	R		V	E	R	S		L	E		C	E	N	T	R	E
D	U		M	O	N	D	E		P	A	R		L	E		P	L	U	S	
C	O	U	R	T		C	H	E	M	I	N									

Les menteurs

Si nous supposons que Benoît dit la vérité, cela implique que Charly et Dédé mentent. Donc, Benoît et Dédé, d'une part, Charly et Ernest, de l'autre, disent la vérité. Il y a contradiction pour Charly et Dédé. Voyons donc ce qu'il se passe si Benoît ment : Charly et Dédé disent la vérité. Donc Benoît, Dédé, Charly et Ernest mentent. Il y a ambiguïté pour Charly et Dédé. Il y a aussi ambiguïté pour Benoît et Ernest. Le seul dont on est certain qu'il ment est donc Albert.

Les Américains veulent la Lune

À l'heure de l'élection présidentielle aux États-Unis, Xavier Pasco et Isabelle Sourbès-Verger, deux spécialistes du secteur spatial, décryptent les enjeux de la stratégie américaine face à la concurrence redoutée de la Chine. Et s'interrogent sur l'avenir du programme de retour vers la Lune voulu par Donald Trump.

Dialogue animé par Sylvie Rouat @srouat1

Quel est le bilan de l'administration du président américain Donald Trump dans le secteur du spatial ?

Xavier Pasco : Dans l'opinion américaine, cette administration a remis le pied de la Nasa à l'étrier en lui fixant pour objectif un retour durable de l'humain sur la Lune. Après l'abandon de la navette en 2011 et la planification de celui de la Station spatiale internationale à l'horizon 2024, l'agence spatiale américaine est restée des années durant sans objectif structurant. Elle a eu du mal à trouver des missions qui justifiaient de grands investissements. Il faut se rappeler que l'ex-président Barack Obama, dont l'électorat attendait surtout des mesures sociales, avait mis fin en 2010 au programme de retour à la Lune lancé par George W. Bush. Le rapport Augustine, commandé au début de son mandat, avait conclu que pour réaliser ce programme, il en coûterait 3 milliards de dollars supplémentaires au budget annuel de la Nasa. Du programme initial, il n'est donc resté que le lanceur lourd SLS et la capsule Orion.
Parallèlement, la Nasa s'est engagée dans le financement de SpaceX, la société d'Elon Musk. Ce compromis arrangeait tout le monde : le SLS permettait aux industriels de réutiliser les moteurs de la navette et le financement du secteur privé faisait taire les critiques des républicains. Seule la Nasa ne s'y retrouvait pas, peinant à justifier son budget. Elle a bien proposé des vols habités vers des astéroïdes proches puis sur la lune martienne Phobos, mais ces projets étaient peu soutenus par le Congrès. Dans le même temps, on a assisté à la montée en puissance de SpaceX et de Blue Origin de Jeff Bezos, et à la mise en concurrence de ces acteurs privés avec la Nasa.

ALEX BRANDON/AP/SIPA

Le président américain Donald Trump lors du lancement par la Nasa de la première mission habitée américaine depuis 2011. Les deux astronautes Bob Behnken et Doug Hurley ont rejoint la Station spatiale internationale à bord de la caspule New Dragon emportée par une fusée Falcon 9 de la société privée SpaceX le 27 mai.

Qu'est-ce qui a changé avec Donald Trump ?

X. P. : Dès son arrivée, il a pris le contre-pied de son prédécesseur en décrétant ce retour sur la Lune. L'agence américaine a retrouvé son rôle fédérateur et tout le monde s'est mis dans son sillage, y compris Elon Musk et Jeff Bezos. La Nasa prouve ainsi qu'elle peut vivre avec ces derniers, y compris sur la Lune, en leur attribuant des briques du programme, tel un atterrisseur. Mais elle reste le chef d'orchestre.

Isabelle Sourbès : Mais cela pose des problèmes ! En attribuant ces briques au privé, que devient la masse de personnels et de compétences réunies en son sein ? Surtout, dans l'histoire du spatial, l'exploration a toujours été conçue par étapes, mais avec une feuille de route générale. Or en refocalisant tout sur l'objectif lunaire, on se ferme l'avenir. Le discours de Donald Trump disant *« On va sur la Lune pour apprendre à aller sur Mars »* est faux : ni la Nasa ni les autres agences n'ont l'argent et les technologies pour aller sur Mars ! Donald Trump est fidèle à sa politique : faire des coups médiatiques tout en faisant le contraire de Barack Obama.

N'est-ce pas aussi pour rivaliser avec la Chine ?

I. S. : Les Chinois sont conscients de leur retard dans le domaine spatial et ont pour objectif de ne plus jamais l'être. Ils veulent réaliser ce que les autres puissances spatiales ont déjà fait en orbite et sur la Lune et acquérir ainsi les mêmes compétences. En réalité leur programme lunaire, modeste, est paradoxalement poussé par les Américains. Plus ces derniers affirment qu'ils ne doivent pas se laisser distancer par le programme

BRUNO LEVY/ DIVERGENCE IMAGES POUR SCIENCES & AVENIR

Isabelle Sourbès-Verger (à gauche), géographe, directrice de recherche CNRS au centre Alexandre-Koyré, est spécialiste de l'étude comparée des politiques spatiales. Elle intervient également au Collège interarmées de défense sur la géopolitique spatiale.

Xavier Pasco, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique, chargé du suivi des affaires spatiales américaines civiles et militaires. Il contribue aux futurs programmes nationaux et européens dans le domaine spatial civil, de la défense et de la sécurité.

spatial chinois, plus cela crédibilise le rêve du président Xi Jinping sur le plan international. Après la menace soviétique, les Américains brandissent la menace chinoise. Or être vus comme des concurrents convient très bien aux Chinois.

D'un côté, il y aurait une menace chinoise, de l'autre un groupe de pays coopérants ?

X. P. : Les Américains veulent en effet attirer sur la Lune leurs anciens partenaires de l'ISS : Européens, Russes, Canadiens et Japonais. Mais ils veulent aussi imposer le cadre et être les seuls organisateurs du jeu. Ils ont ainsi présenté en mai dernier les accords Artemis, une sorte de règlement intérieur sur le partage du sol lunaire et les règles de bonne conduite dans son exploitation. Les Russes sont alors montés au créneau, s'inquiétant du fait que les Américains se soient arrogé le droit d'imposer une réglementation sur un corps régi par un traité international. C'est une nouvelle manière d'habiter l'espace, où commencent à se constituer des zones réservées. Des juristes s'inquiètent de savoir si c'est compatible avec les traités internationaux. Quant à la notion même d'exploitation des ressources de la Lune, je suis toutefois étonné de leur faible réaction. C'est le résultat des efforts menés depuis des années par les Américains pour faire en sorte que le droit s'adapte aux nouvelles technologies.

I. S. : Cela montre bien que nous allons avoir besoin de règles. Mais en réalité, personne ne sait si nous allons nous installer durablement sur la Lune. Tout dépendra de l'argent investi par les Américains. Or un seul tir du SLS pour envoyer humains et matériels sur place est estimé à 2 milliards de dollars, sachant que le budget de la Nasa est aujourd'hui d'environ 20 milliards de dollars par an... Quel sera alors le rapport coût/efficacité ? Une question que pourrait se poser le candidat démocrate Joe Biden s'il arrivait au pouvoir. La démarche chinoise est plus cohérente car moins ambitieuse : aller sur la

▶ Lune est un apprentissage, qui a un sens politique et technologique avant d'être un atout en diplomatie internationale.

« La Lune, pourtant déclarée patrimoine de l'humanité par le traité de 1967, devient un objet identitaire pour les Américains »

Isabelle Sourbès-Verger

Le programme américain intègre-t-il une composante militaire ?

I. S. : Un mémorandum a été signé le 19 septembre entre la Nasa et le département de la Défense américain (DOD) pour fixer les règles de leur coopération sur la Lune. En bref, si la Nasa y a un jour des activités d'intérêt national, comme l'exploitation de minerais, le DOD en assurera la sécurité et la logistique… C'est nouveau, car les États-Unis avaient jusqu'alors toujours distingué le spatial civil du militaire, à la différence de la Chine.

X. P. : Aux États-Unis, tout ce qui est américain dans l'espace devient objet de sécurité nationale. Aujourd'hui, les grandes constellations de satellites en cours de constitution telle Starlink de SpaceX sont considérées comme des moyens du Pentagone.

I. S. : C'est dans ce sens que Donald Trump a ordonné l'an passé au Pentagone de créer une « Space Force », une nouvelle entité au sein des forces armées américaines entièrement dédiée à la protection des intérêts américains dans l'espace. Les traités parlent de l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique, mais la plupart des agences y ont des satellites militaires. C'est une conception du mot « pacifique » qui fait jurisprudence et est synonyme de non offensif. Aujourd'hui, les États-Unis envisagent de mettre aussi des armes dans l'espace en expliquant qu'il s'agira d'armes défensives. Nous assistons à une dérive vers la militarisation de l'espace.

Qu'est-ce que le programme spatial de Donald Trump dit de la société américaine ?

I. S : La conquête de la Lune vue par les Américains est en ce sens emblématique. La Lune, pourtant déclarée patrimoine de l'humanité par le traité de 1967, devient pour eux un projet identitaire. Notre satellite est-il appelé à devenir une nouvelle frontière ? Si tel est le cas, les Américains veulent en être les pionniers. Pour les Chinois, qui se voient pourtant comme une future très grande puissance, l'objectif est simplement de se faire une place sur la Lune. Quant aux Russes, leur agence spatiale a, certes, hérité des maquettes et projets lunaires élaborés au temps de l'Union Soviétique, mais ils ne peuvent justifier politiquement de budgets à la hauteur de ces ambitions.

X. P. : Les États-Unis existent par opposition à l'Ancien Monde : ils doivent toujours être *on the move* (« en mouvement ») pour se distinguer de l'Europe. L'espace le leur permet. En outre, ils considèrent que le progrès scientifique équivaut au progrès humain. L'Europe quant à elle a une autre histoire. C'est le principe de précaution qui prévaut désormais, d'où la méfiance à l'égard de la science.

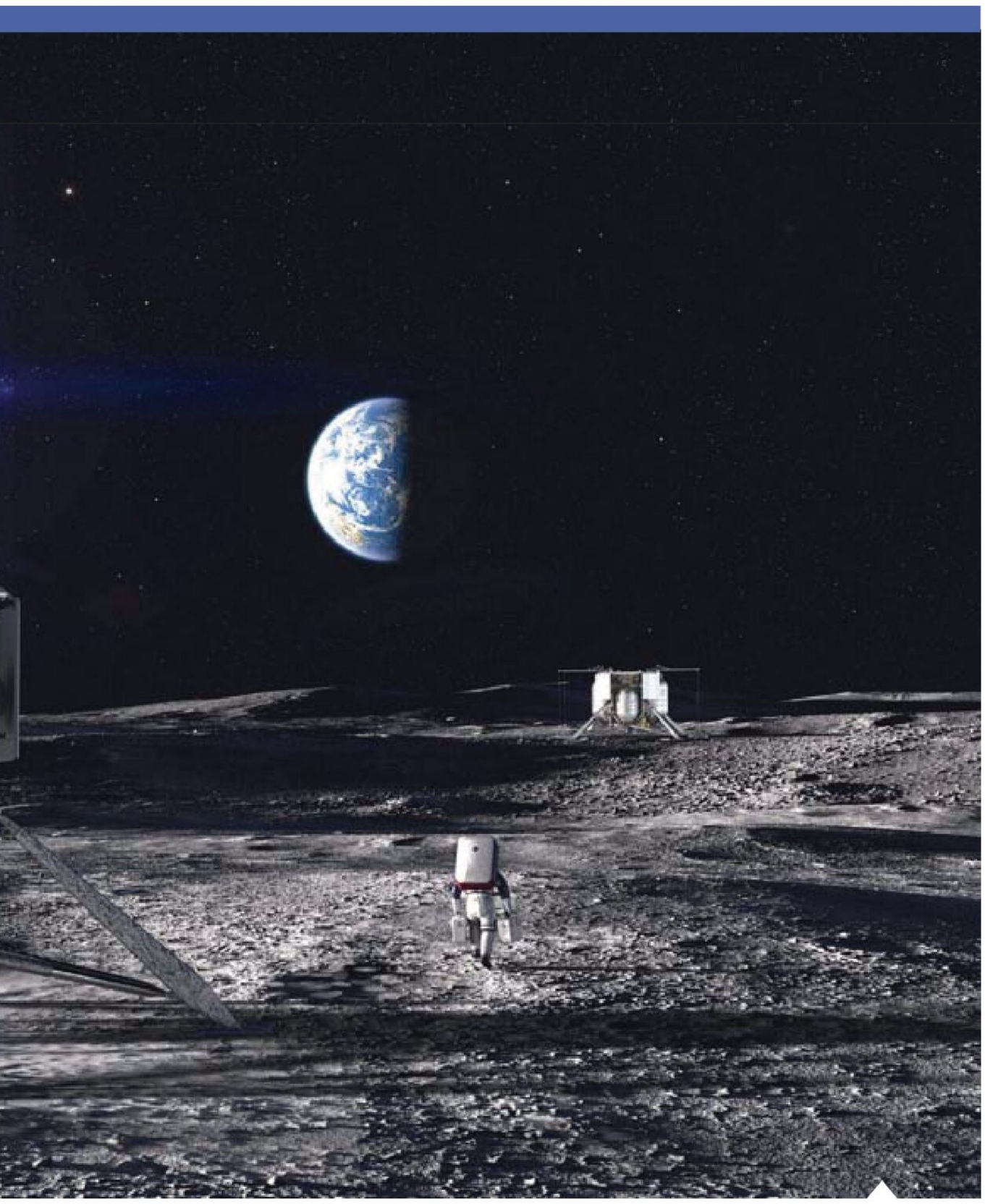
Si le démocrate Joe Biden est élu président, pourrait-il remettre en question le programme lunaire ?

X. P. : La vision démocrate sera de reconstruire la diplomatie américaine, y compris dans le spatial. La Lune restera la quille du bateau, mais ne sera pas abordée de la même façon vis-à-vis de la Chine. Une coopération pourrait être proposée, ce qui permettrait aux démocrates de se démarquer de Donald Trump.

I. S. : Penser le spatial dans le cadre du système Terre-Lune est typiquement américain. C'est la conquête de l'Ouest qui se rejoue là, pour les républicains comme pour les démocrates. Mais je m'interroge sur la capacité réelle des États-Unis à réaliser un tel projet global. La grande question étant : l'espace demain sera-t-il ou non américain ?

LE + NUMÉRIQUE

À LIRE : la version intégrale sur notre site **sciencesetavenir.fr**



BLUE ORIGIN

Le programme Artemis, voulu par Donald Trump, prévoit un retour des Américains sur la Lune en 2024. Pour ce faire, la Nasa s'est attachée la participation de sociétés privées américaines (vue d'artiste).

L'espace est-il un nouvel enjeu pour surveiller l'évolution climatique de notre planète ?

I. S : Depuis que Donald Trump est au pouvoir, la thématique du changement climatique n'est pas prioritaire aux États-Unis, ni porteuse politiquement. De ce fait, la protection de la planète, qui passe par la compréhension des interactions Terre-espace, est reléguée au second plan.

X. P. : L'ange gardien de la planète, c'est l'Europe, avec son grand programme d'observation de la Terre, Copernicus, par exemple. C'est une forme de vision sociétale de l'utilisation de l'espace. Il y a aujourd'hui deux types de puissances spatiales : celles qui veulent faire de l'exploration, y compris habitée, et l'Europe qui développe des applications au service de la protection de la Terre. Cela n'a pas la même valeur symbolique. ■

« Les États-Unis doivent toujours être en mouvement pour se distinguer de l'Europe. L'espace le leur permet »

Xavier Pasco

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Prédire l'avenir avec les sciences

Dans les périodes incertaines comme la nôtre, beaucoup aimeraient disposer d'une boule de cristal pour prédire l'avenir. L'envie est ancienne ; le commerce des boules de cristal aussi... Pour Cicéron, il existait « *deux sortes de divination, l'une ayant quelque chose de scientifique, l'autre étrangère à la science* ». Toujours selon lui : « *Quand on émet une conjecture sur ce qui sera en s'appuyant sur des observations anciennes, on procède scientifiquement. Au contraire n'ont rien du savant ceux qui [...] ont de l'avenir une vision anticipée [...] ainsi qu'il arrive souvent aux songeurs et quelquefois aux prophètes délirants, tels [...] la sybille.* » De nos jours, il en va semblablement : nous connaissons tous des prophètes délirants — nous n'épiloguerons pas sur le sujet — et la science aussi nous aide à anticiper l'avenir. Parmi les méthodes scientifiques contemporaines, certaines reposent sur des observations anciennes comme l'apprentissage machine sur des grandes masses de données, les *Big Data* ; cela correspond à ce que les logiciens appellent l'induction, à savoir le raisonnement du particulier au général. Mais ces techniques se révèlent parfois insuffisantes, ne serait-ce que parce que le futur ne ressemble pas toujours au passé. Certains tentent de partir des lois de la physique en adoptant une démarche déductive, et donc assurée, mais ces approches se révèlent vaines lorsqu'on aborde des phénomènes complexes comme ceux qui régissent le vivant ou le climat. Il reste enfin des approches plus modestes et laborieuses passant par la modélisation et la simulation, puis la confrontation des hypothèses explicatives aux données de l'expérience. Quoique moins assurées et systématiques, ces approches que les logiciens qualifient d'« abductives » n'en demeurent pas moins les plus prometteuses...

> « Les approches plus modestes et laborieuses que les logiciens qualifient d'« abductives » n'en demeurent pas moins les plus productives »

---

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

BRUNO LÉVY

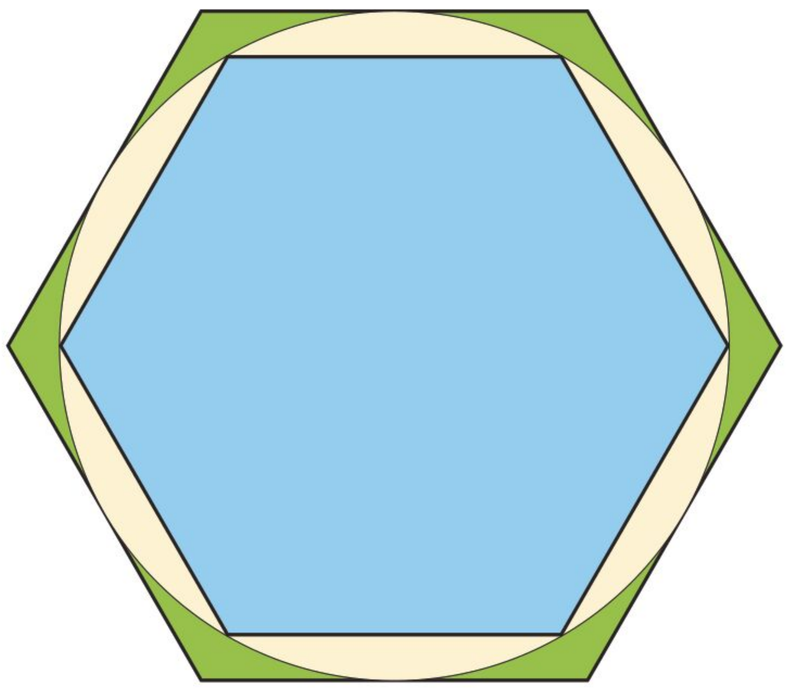
PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Un cercle et ses hexagones

Chacun sait qu'un cercle est un polygone poussé à l'extrême limite de son nombre de côtés. Dans un sens plus modéré, pour chaque dimension, un cercle s'accompagne de deux hexagones, celui qui est circonscrit et contient le cercle, et celui qui est inscrit à l'intérieur. Ici, les deux hexagones ont leurs côtés parallèles. Si l'aire de l'hexagone inscrit vaut l'unité, combien vaut l'aire de l'autre ?



Citations croisées

Trouvez une citation d'Aristote à travers une autre d'Anatole France. Les chiffres sous les cases indiquent le mot d'où provient la lettre.

LES	HOMMES	NE	SUBSISTENT	QU	À	CONDITION	DE
1	2	3	4	5	6	7	8

COMPRENDRE	MAL	LE	PEU	QU	ILS	CONNAISSENT
9	10	11	12	13	14	15

10	15		2	7	4	3	7	9	12		15	9	7	15	14	2	4	8	
10		9	6	15	4	3	9		7		12	4							
4	4	9	4	4	2	2	8	7	15		6		5	15					
10	4	7	9	2															

Dîners stratégiques

Maurice, Daniel, Clément, Corentin, Christian, Xavier et Vincent se réunissent régulièrement mais pas seulement pour dîner et parce qu'ils sont amis. Ils sont liés, pour ainsi dire historiquement, par leur intérêt commun pour une grande bataille du passé. Ils ne se fatiguent jamais d'en évoquer tous les détails. Mais logiquement, quelle est cette bataille, par ailleurs extrêmement célèbre ?

Noces d'or chez Cotillon

Pour la photo de famille, on demande au photographe de placer les personnes alignées de telle sorte que :
1 - Octave et Mélanie Cotillon sont séparés par un homme ;
2 - leur fille Josette et son mari Hector sont séparés par deux personnes ;
3 - leur petite-fille Chloé et son mari Paul sont séparés par trois personnes ;
4 - leur autre petite-fille et son mari Jean sont séparés par quatre personnes ;
5 - chaque homme a son épouse quelque part à sa droite.
Comment le photographe peut-il s'y prendre systématiquement pour réaliser un arrangement répondant à la demande ?

Hautes fréquences

Un mot est représenté dans cette matrice. Saurez-vous le trouver ?

E	R	C	I	A	L
A	E	I	A	O	R
O	L	S	O	C	E
E	R	E	I	A	R
E	A	R	E	R	E
I	L	I	L	I	R

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

Nous sommes composés de 65% d'eau et de 35 % de questions.

LA METHODE SCIENTIFIQUE
DU LUNDI
AU VENDREDI
16H00 - 17H00

NICOLAS MARTIN

© Radio France/Ch. Abramowitz

En partenariat avec

SCIENCES ET AVENIR

france culture

L'esprit d'ouver-ture.

TOUT EST BIEN QUI COMMENCE BIEN.

EN BUSINESS PREMIÈRE, CAFÉ & PRESSE OFFERTS À QUAI*

EN TRAIN
TOUS RESPONSABLES
SNCF

BILLETS ÉCHANGEABLES ET REMBOURSABLES SANS FRAIS.**
POUR VOS ACHATS, PRIVILÉGIEZ LES AGENCES EN LIGNE AGRÉÉES SNCF OU Oui.sncf
PORT DU MASQUE OBLIGATOIRE DURANT VOTRE VOYAGE.
RETROUVEZ TOUTES NOS ACTIONS POUR VOTRE SÉCURITÉ SUR SNCF.COM

*Pour l'achat d'un billet TGV PRO 1ère et sur une sélection de trains, en semaine (hors vacances et jours fériés), sur les lignes de Paris vers Bordeaux, Lyon, Marseille, Nantes, Rennes, Lille et Strasbourg (et inversement). **Exonération des frais d'échange et remboursement pour des voyages jusqu'au 4 janvier 2021 inclus. Dans le cadre d'un échange, la différence tarifaire est à la charge du client. Vente et informations en bornes libre-service, dans les gares, boutiques SNCF, par téléphone au 3635 (service gratuit + prix appel), auprès des agences de voyages agréées SNCF et sur www.oui.sncf. TGV INOUI est une marque déposée de SNCF Mobilités. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584. ROSA·PARK

TGV INOUI
VOYAGEZ AVEC VOTRE TEMPS